

现代电子制造系列丛书

现代电子装联工艺学

刘 哲 付红志 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书从 PCB、元器件和焊接材料入手,系统讲解了现代电子装联工艺中常见的技术,包括软钎焊、压接、胶接、螺装、分板等工艺技术,对电子装联过程失效和可靠性进行了分析,并站在工艺管理的角度阐述了现代电子装联的工艺管理要求。

本书主要面向从事电子产品组装的一线技术人员、质量管理人员、物料工程人员、失效和可靠性分析人员以及相关管理人员,对从事工艺研究的人员也有一定的参考价值。

本书既可作为中兴通讯电子制造职业技术学院的教材,也可作为相关企业员工系统学习电子产品装联工艺的参考书,还可作为高等院校相关专业的教学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代电子装联工艺学 / 刘哲, 付红志编著. —北京: 电子工业出版社, 2016.1
(现代电子制造系列丛书)

ISBN 978-7-121-27729-0

I. ①刘… II. ①刘… ②付… III. ①电子装联—工艺学 IV. ①TN305.93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 287240 号

策划编辑: 宋 梅

责任编辑: 桑 昀

印 刷:

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 20.75 字数: 531.2 千字

版 次: 2016 年 1 月第 1 版

印 次: 2016 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 68.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

总 序

当前，各种技术的日新月异以及这个时代的各种应用和需求迅速地推动着现代电子制造技术的革命。各门学科，比如，物理学、化学、电子学、行为科学、生物学等的深度融合，提供了现代电子制造技术广阔的发展空间，特别是移动互联网技术的不断升级换代、工业4.0技术推动着现代电子技术的高速发展。同时，现代电子制造技术将会在机遇和挑战中不断变革。比如，人们对环保、生态的需求，随着中国人口老龄化不断加剧，操作工人的短缺和生产的自动化，以及企业对生产效率提高的驱动，将会给现代电子制造技术带来深刻变革。不同的时代特征、运行环境和实现条件，使现代电子制造的发展也必须建立在一个崭新的起点上。这就意味着，在这样一个深刻的、深远的转折时期，电子制造业生态和电子生产制造体系的变革，为增强制造业竞争力提供了难得的机遇。

对于中国这个全球电子产品的生产大国，电子制造技术无疑是非常重要的。而中兴通讯作为中国最大的通信设备上市公司，30年来，其产品经历了从跟随、领先到超越的发展历程，市场经历了从国内起步扩展到国外的发展历程，目前已成为全球领先的通信产品和服务供应商，可以说是中国电子通信产品高速发展的缩影。在中兴通讯成功的因素中，技术创新是制胜法宝，而电子制造技术也是中兴通讯的核心竞争力。

无论是“中国智造”，还是“中国创造”，归根到底都依赖懂技术、肯实干的人才。中兴通讯要不断夯实自身生产制造雄厚的技术优势和特长，以更好地推动和支撑中兴通讯产品创新和技术创新。为此，2013年中兴通讯组建了电子制造职业学院，帮助工程师进修学习新知识和新技术，不断提升工程师的技术能力。为提升学习和培训效果，我们下功夫编写供工程师进修学习的精品教材。为此，公司组织了以樊融融教授为首的教材编写小组，这个小组集中了中兴通讯既有丰富理论又有实践经验的资深的专家队伍，这批专家也可以说是业界级的工程师，这无疑保证了这套教材的水准。

《现代电子制造系列丛书》共分三个系列，分别用于高级班、中级班、初级班，高级班教材有4本，中级班教材有6本，初级班教材有2本。本套丛书基本上覆盖了现代电子制造所有方面的理论、知识、实际问题及其答案，体现了教材的系统性、全面性、实用性，不仅在理论和实际操作上有一定的深度，更在新技术、新应用和新趋势方面有许多突破。

本套丛书的内容也可以说是中兴通讯的核心技术，现在与电子工业出版社联合将此丛书公开出版发行，向社会和业界传播电子制造新技术，使现在和未来从事电子制造技术研究的工程师受益，将造福于中国电子制造整个行业，对推动中国制造提升能力有深远的影响，这无疑体现了“中兴通讯，中国兴旺”的公司愿景和一贯的社会责任。

中兴通讯股份有限公司董事长

前 言

随着电子产品向多功能、微型化、高密度、环保方向发展，电子装联变得越来越重要，如何将现代电子产品可靠、高效、低廉、定制化地完成组装，已经成为现代电子装联的新课题。

现代电子装联是随着封装、印制电路板、组装材料和组装技术共同发展起来的，在这一过程中，我们面临的高密度组装及其可靠性问题必须得到重视，而且基于生产过程的工艺管理为电子装联成功与否提供了保障。

正是基于以上考量，我们根据现代电子装联在新形势下的要求，提出编制针对专业技术人员的系列教材，以满足现代电子装联的各项要求。

本书从工艺的角度出发，系统讲解了涉及器件封装、印制电路板和装联辅料的相关知识，提出了满足现代电子装联的工艺要求，进而讲解了现代电子装联的主流工艺，包括软钎焊、压接、电子胶接、螺装、分板等工艺技术，并在此基础上讲述了现代电子装联的失效分析和可靠性知识，最后站在工艺管理的角度，讲解了在电子装联过程中需要关注的重点。

全书共 11 章，第 1 章绪论，第 2 章现代电子装联器件封装，第 3 章印制电路板，第 4 章电子装联用辅料，第 5 章软钎焊接工艺技术，第 6 章压接工艺技术，第 7 章电子胶接工艺技术，第 8 章螺装工艺技术，第 9 章分板工艺技术，第 10 章现代电子装联失效分析及其可靠性，第 11 章电子装联工艺管理。

本书第 1、2、3、5、6、7、8、9 章由刘哲编写，第 4、10、11 章由付红志编写。

本书在编写过程中得到了中兴通讯股份有限公司董事长侯为贵的大力支持、关心和鼓励，并在百忙之中为本系列丛书作序。同时该公司执行副总裁邱未召和高级顾问马庆魁也亲自为本书的按时出版提供了指导与保障。

作为前辈和老师，八十岁高龄的樊融融研究员亲自审核了全书，并为本书提出了很多宝贵的指导、意见和建议。

在本书编写过程中，还得到制造工程研究院刘剑锋院长、工艺研究部石一遑和张加民部长、制造中心董海主任和丁国兴副主任、工艺部汪芸部长的关心和支持，在此向以上领导及同仁一并表示感谢！

作者在完成本书的过程中得了制造工程研究院和制造中心贾忠中、邱华盛、王玉、黄祥彬、孙磊、史建卫、周强、陈达、张广威、王炳林、张作华、杨冀丰、王世堃、梁剑等同事的协助，在此表示由衷的感谢。

本书编写中参考了一些专业书籍和网络上的相关资料，在此对相关作者表示衷心感谢！

编著者

2015 年 12 月

于中兴通讯股份有限公司

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 工艺概述	2
1.1.1 什么是工艺	2
1.1.2 如何理解工艺	2
1.1.3 什么是电子装联工艺	2
1.2 电子装联工艺技术的发展	3
1.2.1 发展历程	3
1.2.2 国内外发展状况	4
1.3 电子装联工艺学	6
1.3.1 什么是电子装联工艺学	6
1.3.2 现代电子装联工艺学特点	7
1.3.3 现代电子装联工艺的发展方向	7
思考题 1	8
第 2 章 现代电子装联器件封装	9
2.1 概述	10
2.1.1 封装的基本概念	10
2.1.2 电子封装的三个级别	11
2.2 元器件封装引脚	12
2.2.1 电子元器件引脚（电极）材料及其特性	12
2.2.2 引脚的可焊性涂层	14
2.3 常用元器件引线材料的镀层	24
2.3.1 THT/THD 类元器件引脚材料及镀层结构	24
2.3.2 SMC/SMD 类元器件引脚（电极）用材料及镀层结构	27
2.4 镀层可焊性的储存期试验及试验方法	33
2.4.1 储存期对可焊性的影响	33
2.4.2 加速老化处理试验	34
2.4.3 可焊性试验方法及其标准化	35
2.5 插装元器件	44
2.5.1 插装元器件的形式	44
2.5.2 常见插装元器件方向/极性的识别	44
2.5.3 常用插装元器件在印制电路板上的丝印标识	48
2.5.4 插装元器件的引脚成型	50

2.6 潮湿敏感元器件	54
2.6.1 基本概念	54
2.6.2 MSD 的分类以及 SMT 包装袋分级	56
2.6.3 潮湿敏感性标志	58
2.6.4 MSD 的入库、储存、配送、组装工艺过程管理	59
思考题 2	64
第 3 章 印制电路板	65
3.1 概述	66
3.1.1 基本概念	66
3.1.2 发展历程	66
3.1.3 印制板的分类	69
3.2 印制电路板制作	70
3.2.1 PCB 构成	70
3.2.2 PCB 加工	71
3.3 现代电子装联过程中常见的 PCB 缺陷	82
3.3.1 装联中的几种常见缺陷	82
3.3.2 检查工具和方法	84
3.3.3 常见缺陷的判定	84
3.4 PCB 的可制造性设计	90
3.4.1 可制造性设计的重要性	90
3.4.2 制造工艺能力	91
3.4.3 可制造性设计过程	92
3.4.4 PCB 电子装联可制造性设计	93
思考题 3	106
第 4 章 电子装联用辅料	107
4.1 概述	108
4.1.1 电子装联用辅料的作用	108
4.1.2 电子装联用辅料的构成	108
4.2 钎料	108
4.2.1 钎料的定义和分类	108
4.2.2 锡铅钎料的特性和应用	108
4.2.3 无铅钎料的特性和应用	110
4.2.4 钎料中的杂质及其影响	111
4.2.5 钎料的评估和选择	112

4.3	电子装联用助焊剂	112
4.3.1	助焊剂的分类	112
4.3.2	按助焊剂活性分类	113
4.3.3	按 JST-D-004 分类	113
4.3.4	助焊剂的作用及作用机理	113
4.3.5	在焊接中如何评估和选择助焊剂	116
4.4	再流焊接用焊膏	117
4.4.1	定义和特性	117
4.4.2	焊膏中常用的钎料合金成分及其种类	118
4.4.3	焊膏中糊状助焊剂各组成部分的作用及作用机理	118
4.4.4	焊膏的应用特性	120
4.4.5	如何选择和评估焊膏	120
4.5	电子胶水	122
4.5.1	电子胶水的种类和特性	122
4.5.2	电子胶水选择时应注意的问题	122
4.5.3	常用电子胶水	122
4.6	其他类电子装联辅料	124
4.6.1	金手指保护胶纸	124
4.6.2	耐高温胶纸	124
4.6.3	清洗剂	124
	思考题 4	124
第 5 章 软钎焊接工艺技术		125
5.1	软钎焊接理论	126
5.1.1	什么是软钎焊	126
5.1.2	软钎焊接机理	127
5.2	手工焊接工艺	129
5.2.1	手工焊接用工具和材料	129
5.2.2	手工焊接工艺	132
5.2.3	手工焊接注意事项	138
5.3	波峰焊焊接工艺	139
5.3.1	波峰焊焊接机理	139
5.3.2	波峰焊焊接工艺参数	142
5.3.3	波峰焊焊接工艺窗口的调制	147
5.3.4	故障模式、原理和解决方法	147
5.4	选择性波峰焊焊接工艺	156
5.4.1	工艺原理	156
5.4.2	工艺参数	158
5.4.3	选择性波峰焊焊接工艺窗口调制	161
5.4.4	选择性波峰焊焊接故障模式、原理和解决方法	164

5.5	再流焊接工艺	172
5.5.1	再流焊接机理	172
5.5.2	主要工艺参数	173
5.5.3	再流焊接工艺参数的调制	174
5.5.4	再流焊接故障模式、原理和解决方法	177
5.6	其他焊接工艺	183
5.6.1	气相回流焊接工艺	183
5.6.2	压焊工艺	183
5.6.3	激光焊接工艺	183
	思考题 5	184
第 6 章	压接工艺技术	185
6.1	压接概念	186
6.1.1	什么是压接连接	186
6.1.2	压接工艺的应用和压接端子的特点	186
6.2	压接机理	187
6.3	压接设备及工装	189
6.3.1	压接方式分类及设备	189
6.3.2	压接工装	191
6.4	压接设计工艺性要求	192
6.4.1	单板上压接连接器周围元器件布局要求	192
6.4.2	常用压接元器件的安装孔径和焊盘尺寸	193
6.4.3	背板设计要求	193
6.4.4	常见压接元器件设计检查	195
6.5	压接操作通用要求	195
6.5.1	半自动压接单点通用要求	195
6.5.2	全自动压接单点通用要求	196
6.6	压接工艺过程控制	199
6.6.1	压接工艺过程控制的意义	199
6.6.2	影响压接的主要工艺参数	199
6.6.3	常见压接不良	201
6.6.4	压接不良的检查方法	202
6.6.5	压接工艺过程控制	203
6.6.6	对压接件的控制	203
	思考题 6	204
第 7 章	电子胶接工艺技术	205
7.1	电子胶及其黏结理论	206
7.1.1	电子胶的作用	206
7.1.2	电子装配中的胶黏剂分类	206
7.1.3	黏结理论	207

7.2	保护类胶黏剂	209
7.2.1	概述	209
7.2.2	灌封胶	209
7.2.3	COB 封装胶	209
7.2.4	底部填充胶	210
7.2.5	敷型涂覆	210
7.3	表面贴装用胶黏剂	211
7.4	导电胶、导热胶	212
7.4.1	各向同性导电胶	212
7.4.2	各向异性导电胶	213
7.4.3	导热胶	213
7.5	用于 LCD 制造中的胶黏剂	214
7.5.1	LCD 的发展	214
7.5.2	电子胶在 LCD 制造过程中的应用	215
7.6	其他通用黏结类胶黏剂的应用领域	216
	思考题 7	218
第 8 章	螺装工艺技术	219
8.1	螺装基础知识	220
8.1.1	螺装工艺概述	220
8.1.2	影响螺装的主要因素	220
8.2	螺装技术要求	222
8.3	螺装工艺原理	222
8.4	螺装工具——电批	225
8.4.1	电批分类	225
8.4.2	电批使用	226
8.4.3	电批操作注意事项	228
8.4.4	电批扭矩设定和校验	228
8.5	螺装工艺参数	229
8.6	螺装故障模式、原因和解决方法	230
8.6.1	螺柱爆裂	230
8.6.2	螺钉歪斜	230
8.6.3	螺钉头花或螺钉头缺失	231
8.6.4	打滑丝	231
8.6.5	锁不到位	231
8.6.6	顶白、起泡	232
8.6.7	螺钉头脱漆	232
8.6.8	批头不良	232
8.6.9	螺钉使用一段时间或经过高温后断裂	232

8.6.10 螺牙打花现象	232
8.6.11 螺钉生锈现象	233
8.6.12 漏打螺钉问题	233
8.6.13 电批扭矩不稳定问题	233
8.6.14 批头滑出损坏产品表面	234
8.6.15 螺钉拧不紧问题：安装不到位	234
8.6.16 漏气、缝隙或接触不良、螺钉安装不到位	234
思考题 8	234
第 9 章 分板工艺技术	235
9.1 概述	236
9.2 分板工艺类型及选用根据	237
9.3 分板工艺	238
9.3.1 V-CUT 分板	238
9.3.2 铣刀式分板	247
思考题 9	260
第 10 章 现代电子装联失效分析及其可靠性	261
10.1 概述	262
10.2 失效分析	262
10.2.1 失效分析简介	262
10.2.2 常用手段及标准	264
10.2.3 焊接缺陷失效分析谱	269
10.2.4 失效分析应用举例	271
10.3 电子装联可靠性	273
10.3.1 可靠性	273
10.3.2 电子装联可靠性	276
10.4 焊接工艺可靠性提升	283
10.4.1 固有可靠性影响因素	283
10.4.2 焊接工艺使用可靠性影响因素	287
10.4.3 常见焊接缺陷分析及对策	289
10.5 其他装联工艺失效及其可靠性	293
10.5.1 压接工艺	293
10.5.2 螺装工艺	294
10.5.3 分板工艺	296
10.5.4 三防涂覆工艺	297
思考题 10	298
第 11 章 电子装联工艺管理	299
11.1 工艺管理概述	300
11.1.1 工艺管理定位	300

11.1.2	工艺管理内涵	300
11.2	工序质量控制	301
11.2.1	工序定义	301
11.2.2	关键工序	301
11.2.3	工序管理	302
11.3	工艺标准化	303
11.3.1	标准化内容	303
11.3.2	工艺文件编制	304
11.3.3	工艺文件控制	304
11.4	工艺执行与纪律	306
11.4.1	工艺纪律要求	306
11.4.2	监督与考核	306
11.5	其他管理方法介绍	306
11.5.1	定置管理	307
11.5.2	目视管理	308
思考题 11		310
参考资料		311
参考文献		315
跋		317

第1章 绪 论



本章要点



工艺概述



电子装联工艺技术的发展



电子装联工艺学



1.1 工艺概述

1.1.1 什么是工艺

工艺是生产者利用生产设备和生产工具对各种原材料、半成品进行加工或处理，使之最后成为符合技术要求的产品的艺术（程序、方法、技术），它是人类在生产劳动中不断积累起来的并经过总结的操作经验和技术能力。工艺直接体现在以下两个方面：

- (1) 方法——主要是产品加工所涉及的技术，这可以从其英文“Technology”表现出来。
 - (2) 过程——产品加工是按照工艺要求顺序进行的，英文用“Process”表示。
- 由此可见，只要有生产制造，就存在工艺。

1.1.2 如何理解工艺

工艺起源于人们的操作经验和手工技能，最初的工艺来自于人们的手工操作技能，这些技能的升华，使得大量生产成为可能；因此，工艺工作的出发点就是为了提高劳动效率，生产优良产品以及增加生产利润。

工艺的研究内容包括材料、装备、方法、人力和管理等部分。

(1) 材料：主要指加工对象的原材料和作为加工技术实现中所必需的工艺材料（如 PCBA 焊接焊料、助焊剂等）两个方面，它是整个工艺乃至整个工业的源头，即“制作材料者制作技术”。把特定的材料加工成最终产品必然涉及对其加工特性（工艺性）、加工方法等问题的研究。

(2) 装备：主要包括产品生产加工所用到的机器设备、工装模具、仪器仪表等，是工艺得以实现的硬件基础。

(3) 方法：工艺的软件基础，是工艺的核心和灵魂，通常以概念、原理、思想、技术要求、单点或通用或专用技术等形式存在并对材料的利用和加工、装备的操作与控制、设计要求或指南，是利用设备硬件将材料有机结合并顺利组织生产实施的纽带。

上述三个部分构成了工艺的主要组成部分，无论是对其深入研究还是对现有技术的有效应用，工艺在各行各业都发挥着重要作用。因此，工艺包含了“硬件”和“软件”两个部分，是“硬件”和“软件”的有机结合。

1.1.3 什么是电子装联工艺

电子装联包括“装”和“联”两个基本功能。“装”表示安装，主要包括电器元器件的安装（如 THT 插装、SMT 贴装等）以及结构零部件的安装（如螺装、铆接和胶接等）；“联”表示互连，是把电器元器件连成电流通路的过程。完成该过程的工艺手段主要有焊接、压接、导电胶接等，主要特点是形成的结合点大多具有电流导通的功能。



在电子装备中,电子装联工艺指的是“在电、磁、光、静电、温度等效应和环境介质中任何两点(或多点)之间的电气连通技术,即由电子、光电子器件、基板、导线、连接器等零部件,在电磁介质环境中经布局布线联合制成承制所设定的电气模型的工程实体的制造技术”。

由此可见,在现代电子产品的设计、开发、生产中,电子装联工艺的作用发生了根本性的变化,它是总体方案设计人员、企业的决策者实现产品功能指标的前提和依赖。电子装联工艺可靠性已成为电子设备可靠性的主要关注点之一,电子装联工艺是现代电子设备设计和制造的基础技术。

现代电子装联工艺服务于整机,服务于生产,为电子装备的小型化、轻量化、多功能化及高可靠性以及批量生产提供了可靠的技术保障。现代电子装联工艺是一项系统工程,它涉及产品从设计、研制到生产的各个环节。电路设计与电子装联工艺是一种互为依存的关系:先进电子装联工艺为电路设计提供可靠的技术保障,同时先进电子装联工艺又要求电路设计更先进、更规范化、更标准化、更具有生产工艺性。没有先进电子装联工艺作为可靠的技术保障,电路设计不管多么先进也无法实现其战术技术指标。同样,没有先进的、规范化、标准化、具有生产性、工艺性的电路设计,先进电子装联工艺就失去了发挥其作用的平台。

此外,每一项工艺的 implementation 都需要具备一定素质和技能的人才和严谨的管理环境,才能够顺利进行。人才培养和管理制度建设也成为工艺工作的重要内容,是发挥工艺作用的前提和保障。

正是由于工艺的基础作用以及它所涉及的众多科学领域,因此,以加工制造工艺为研究对象的各种工艺学(如电机工艺学、半导体工艺学等)也就应运而生,形成了一个专门的学科领域。

1.2 电子装联工艺技术的发展

1.2.1 发展历程

20 世纪 40 年代,伴随着晶体管的诞生、高分子聚合物的出现以及印制电路板的研制成功,以无线电产品为代表的电子产品开始问世,同时伴随着产品实现的工艺技术便应运而生。在电子管时代,人们仅仅用手工焊接的方式完成晶体管收音机的生产。20 世纪 50 年代,随着英国人推出第一台波峰焊焊接设备,电子产品大规模自动化焊接得到了推动。

20 世纪 60 年代为实现电子表和军用通信产品的微型化,开始出现无引脚电子元器件,表面贴装技术(Surface Mount Technology, SMT)的雏形开始显现。20 世纪 70 年代,日本为发展消费类电子产品,开发了 SMT 专用焊膏,同时贴片机、再流焊炉、印刷机和各种片式器件先后推出,极大地促进了 SMT 的发展。20 世纪 80 年代, SMT 日趋成熟,表面贴装元器件性能和价格大幅下降, SMT 技术逐渐走向成熟。20 世纪 90 年代, SMT 更是发生了惊人变化,片式器件越来越小, IC 封装进一步高度集成,几乎所有电子产品开始采用表面贴装技术来实现装联。



进入 21 世纪以来,随着器件的进一步小型化和多功能化,SMT 技术走向全面成熟阶段,人们对手机、智能终端为代表的产品的需求成为新一轮驱动力。为支撑这些需求,COB(板载芯片)、MCM(多芯片模块)、WSL(晶圆级封装)、3D 组装、TSV(硅通孔技术)、SIP(系统级封装)等新技术被不断开发出来并走向成熟,使得微组装技术得到了蓬勃的发展。

电子设备中的装联工艺,过去一般统称电装和电子装联,多指在电的效应和环境介质中点与点之间的连接关系;近几年业内甚至有一种倾向,把含义十分广泛,内容十分丰富的电子装联技术狭隘地概括在板级电路的“SMT”内。

谈到电子装联工艺,人们往往只注意电子装备的基本部件——印制电路板组装件的可制造性设计,这是可以理解的;因为毕竟在印制电路板组装件中包含了很多丰富的内容。目前,THT、SMT 是其中主要研究、设计内容。但从事工程任务的电路设计师和电装工艺师们都十分清楚,电子装联技术,绝不单纯地局限于印制电路板组装件,它包含了更多的内涵。从某种程度上讲,常规印制电路板组装件(即板级电路的 THT、SMT)相对而言还比较好办,因为这类板级电路的可制造性设计还有相对先进的装联设备和设计软件作为技术支撑;但对于作为构成电路设计重要组成部分的整机/单元模块,高、低频传输线,高频、超高频、微波电路印制电路板组装件,板级电路、整机/单元模块的 EMC,板级电路模块及整机/单元模块的 MPT 设计,无论是国内或国外都是有待进一步解决。

由此可见,电子装联工艺是伴随着电子产品的发展而不断进步的,电子产品的小型化、多功能、高度集成等要求促进了电子装联工艺的不断进步,成为其名副其实的推动力。

同时,支撑电子装联工艺的其他技术也在不断出现,压接技术(Press Fit)、压焊技术、激光焊接技术、气相焊接技术、选择性焊接技术等新的装联工艺的出现,不同程度地满足了电子产品装联的需要,丰富了电子装联工艺的内涵。

1.2.2 国内外发展状况

1. 国外发展状况

从国外的情况来看,随着电子装备向集成化、系统化、轻小型化、高可靠方面的进一步发展,对现代电子装联工艺提出了新的要求,导致技术难度进一步增加。

美国从战略发展的角度考虑,大力发展电子装联工艺。例如,在休斯公司成立了电子装联工艺科研开发和生产制造的专门机构,快速形成低成本制造的工程化能力,极大地促进了该项技术的发展。推动了多芯片组装和立体组装技术的研发和应用,美国新一代战斗机 F-22 的研制过程中,大量采用立体组装技术,使战斗机的通信导航敌我识别系统(CNI)分散的设备集成在 3 个设备中,实现了综合化的 ICNIA 技术。

英国考林斯公司在 20 世纪 90 年代中期研制的航空电台中也采用了立体组装技术。2000 年马可尼公司在航天电子研究中采用了三维互联结构。

欧洲以瑞典的生产技术研究所和德国的 IZM 研究所为中心,联合法国的国家级 Letea 研究所、挪威的国家级研究所以及一些大学积极研究电路组装技术。

日本在电子信息产业协会(JEITA)的组织下,制订和规划电子装联工艺的发展并提出预测目标,其中日本超尖端电子技术开发中心(ASET)和安装工学研究所(IMSI)承



担了重要的技术开发工作。日本的一些公司也在军方支持下建立了专业工程研究中心,针对日本的国防装备特点及预测目标进行电子装联工艺研究。

普遍预测 21 世纪的前十年将迎来电子装联的 3D 叠层立体组装时代,其代表性的产品将是系统级封装(System In a Package, SIP)。与第一代封装相比,封装效率提高 60%~80%,体积减小至 1/1000,性能提高 10 倍,成本降低 90%,可靠性增加 10 倍。

与此同时,国外电子装联的相关技术也获得了迅速的发展。

20 世纪 80 年代以来电子信息设备向着高性能、高度集成和高可靠性方向发展,使得 21 世纪的表面组装技术向纵深发展;其中最引人注目的有:

1) 无源元器件的小型微型化和无源封装

20 世纪 90 年代末出现的 0201 片式元器件,其尺寸仅为 0402 的 1/3。无源元器件小型微型化的同时,其使用量迅速增加,导致片式元器件在 PCB 组件上的贴装成了组装工艺的“瓶颈”,解决该问题的有效方法是实现无源片式元器件的集成无源封装。

2) 有源器件的大型化和多端子化

21 世纪初期,BGA、CSP 和晶片式封装将继续扩大使用,其中产量最大的是 PBGA,其端子数已达 1848 个;多芯片组件将进入应用;芯片级 3D 组装、系统级芯片(SOC)和 MCM 的系统级封装(MCM/SIP)也将蓬勃发展。

无源元器件的小型微型化和无源封装,有源器件的大型化和多端子化及芯片级 3D 组装、系统级芯片(SOC)和 MCM 的系统级封装(MCM/SIP)的蓬勃发展使得第三代表面组装工艺技术向着高密度、高精细和高可靠性和多样化方向发展。

以 BGA/CSP 器件为代表的第二代 SMT 将在 21 世纪前十年的板级电路组装中占据支配地位,以倒装片的应用为主的第三代 SMT 将逐渐完善和推广应用。

在板级电路的设计和组装方面,国内外正在研究开发基于 Web 的板级电路 CAD/CAPP/CAM/CAT 设计、制造、测试一体化技术。美国 Tecnomatic Unicam 公司已经开发出应用于板级电路的设计、组装、组装测试、质量监控、物料追踪管理及虚拟工厂等贯穿整个生产流程的 eMPower 模块集成应用软件;在板级电路二维设计和组装方面以色列 VALOR 公司 DFM 软件是一个包括 CAD 设计(DFM)、电路板检查和工程制造(CAM)、装配检查和新产品导入(NPI)的软件系统;从而实现了基于 Web 的板级电路 CAD/CAPP/CAM/CAT 一体化技术。

2. 国内发展现状

现在我们再介绍一下国内电子制造业电子装联的发展现状。

1) 器件级电子装联工艺

目前国内器件级电子装联工艺十分落后,SMD 元器件生产尚只能达 0402 (1.0 mm×0.5 mm) 生产水平,BGA、CSP、Flip-chip、LGA 等新型器件的生产能力尚未形成,研制能力也很弱,相关研究工作尚刚刚起步;高密度封装技术、多芯片组件(MCM)、无源集成技术及 SIP 封装技术在国内基本上还属于空白状态;由此,工业和信息化部已把元器件和集成电



路作为“十一五”重点攻关的内容。

2) 板级电路模块电子装联工艺

板级电路模块电子装联的表面组装技术在 20 世纪 90 年代有了瞩目的进展,但总体上相当于美日等发达工业国家 20 世纪 80 年代中期水平;近年来我国板级电路电子装联的表面组装技术水平的发展初步奠定电子装备轻小型、高可靠、低能耗、高技术化的基础。但与发达工业国家相比,国内电子装联工艺总体水平尚较落后,总体水平落后发达国家 15~20 年。

基于 SMT 的板级电路模块电子装联工艺组装的电子产品的工作频率比较低、功能单一;在电子装备中的应用率估计不足 30%;PCB 电路模块 SMT 组装不良率普遍高于 100×10^{-6} ,尚未见有高于 30 点/cm² 的高密度组装应用于产品;电子装备上的 SMT 高密度组装技术上的研究有所突破,但其应用仍需进一步研究高密度互连的可靠性,以及在产品中全面应用的可行性。

(1) 微波/毫米波电路的高密度组装技术和系统级组装技术尚在研究开发阶段;多芯片系统组装技术和以板级为基础的立体组装技术研究尚处于预研阶段,还没有应用实例报道;互连焊点可靠性等方面的研究工作,虽有不少单位已在进行,但尚未进入实用阶段,工程化程度较低。

(2) 基于 MPT 的微组装技术——板级电路模块电子装联工艺的研究还处于零的状态。

另外,整机/系统级电子装联工艺研究方面,机电耦合电子装联工艺、整机级 3D 组装技术、整机级 3D 布线技术研究基本处于零的状态。

1.3 电子装联工艺学

1.3.1 什么是电子装联工艺学

就电子整机产品的生产过程而言,主要涉及两个方面:一方面是指制造工艺的技术手段和操作技能,另一方面是指产品在生产过程中的工艺方法和质量控制。我们可以把这两方面分别看作是“硬件”和“软件”。研究电子整机产品的制造过程,材料、设备、方法、操作者这几个要素是电子工艺技术的基本重点,通常用“4M+M”来简化电子产品制造过程的基本要素。

电子装联工艺是指按照预定的电路设计功能,通过一定的技术手段将电子元器件、印制电路板、结构零部件等组合成具有独立的电路功能和可靠的电路通路的产品的工艺过程。而研究这一工艺过程的学科称之为电子装联工艺学。它是一门综合性专业学科,其研究对象包含了材料、装备、方法、人力、管理和环境等方方面面,其主要任务是围绕着产品设计的实现,把设计产品上的材料(PCB、元器件等)通过装联过程,达到某种功能要求的电子产品。所以,电子装联工艺学需要研究并根据装联对象的工艺特性和工艺要求来设计与组织生产。

现代电子装联工艺学是在现代工业生产条件下,将元器件、线缆、结构件、机加件等组件组装成电子产品(或组件)的工艺方法和工艺过程。



1.3.2 现代电子装联工艺学特点

作为与生产实际密切相关的技术学科,电子工艺学有着自己明显的特点,归纳起来主要有以下几点。

1. 涉及众多科学技术领域

电子工艺学与众多的科学技术领域相关联,其中最主要的有应用物理学、化学工程技术、光刻工艺学、电气电子工程学、机械工程学、金属学、焊接学、工程热力学、材料科学、微电子学、计算机科学、工业设计学、人机工程学等。除此之外,还涉及数理统计学、运筹学、系统工程学、会计学等与企业管理有关的众多学科。这是一门综合性很强的技术学科。

电子工艺学的技术信息分散在广阔的领域中,与其他学科的知识相互交叉、相辅相成,成为技术关键(Know How)密集的学科。

2. 涉及范围广、发展迅速

电子工艺技术虽然在生产实践中一直被广泛应用,但作为一门学科而被系统研究的时间却不长。系统论述电子工艺的书刊资料不多,直到 20 世纪 70 年代以后,第一本系统论述电子工艺技术的书籍才面世,20 世纪 80 年代初在高等学校中才开设相关课程。

随着电子科学技术的飞速发展,对电子工艺学业提出了越来越高的要求,人们在实践中不断探索新的工艺方法,寻找新的工艺材料,使电子工艺学的内涵及外延迅速扩展。可以说,电子工艺学是一门充满蓬勃生机的技术学科。与其他行业相比,电子产品制造工艺技术的更新要快得多。经常有这样的情况发生:某项新的工艺方法还未能全面推广普及,就已经被更先进的技术所取代。

当今的世界已进入知识经济的时代,大到一个国家,小到一个公司,经济、市场的竞争往往表现为关键工艺技术的竞争。从法律的角度,通过专利的手段对关键技术的知识产权进行保护;在企业内部,通过严格的文件管理、资料授权管理把企业的关键工艺技术掌握在一部分人手里,行业之间、企业之间实行技术保密和技术封锁,是非常普遍的现象。因此,获取、收集电子工艺的关键技术是非常困难的。

3. 装联工艺对可靠性影响越来越重要

随着电子产品向多功能、高密度、微型化、三维等方向发展,大量微型器件得以越来越多地应用,这就意味着单位面积的器件 I/O 越来越多,发热元器件也会越来越多,散热需求越来越重要,同时因众多材料 CTE 不同而带来的热应力翘曲变形使得组装失效风险越来越大,随之而来的电子产品的早期失效概率也会越来越大。因此,现代电子装联工艺可靠性问题变得越来越重要了。

1.3.3 现代电子装联工艺的发展方向

电子装联先进制造技术包括器件级、板级电路模块级、整机/系统级和一些相关的共性



技术。

1. 器件级电子装联工艺

器件级电子装联工艺的重点研究是高密度封装技术，多芯片组件（MCM）电子装联工艺，无源集成技术和 SIP 封装技术；改变或基本改变在关键芯片制造技术上过分依赖进口的局面。器件级电子装联工艺，是整个电子装联工艺发展的核心和关键；所谓“一代电子器件决定一代电子装联技术，进而决定一代电子产品”，就是指器件级电子装联工艺对电子装联先进制造技术所起的决定性作用。

2. 板级电路模块电子装联工艺

板级电路模块电子装联工艺的重点研究首先是基于 SMT 的板级电路模块电子装联工艺，基于 MPT 的板级电路模块电子装联工艺和基于 MMT 的板级电路模块电子装联工艺；包括高速/高频电路板 SMT 设计/制造/组装技术，板级电路模块高密度、高精度、高可靠设计/组装技术，板级电路模块 3D 叠层结构设计/制造/组装技术，板级电路模块 CAD/CAPP/CAM/CAT 一体化技术，以板级为基础的电路模块 3D 设计组装技术，微波电路部件 SMT/MPT 设计/制造技术，微波电路部件高密度互联设计/制造技术，HDI 多层基板制造技术，特种电路板设计制造技术以及与此相对应的应用软件和组装设备。

其次，板级电路模块 SMT 技术有着十分广阔的发展前景，概括起来主要体现在设计理念、基板材料、组装密度、组装方式、连接技术、组装材料、清洗技术、应用频率和建立我国自己的板级电路模块 SMT 标准体系等九个方面。

再次，整机/系统级电子装联工艺：整机/系统级电子装联工艺的研究重点是整机级机电耦合电子装联工艺，整机级 3D 组装技术和整机级“无”线缆连接技术。

最后，电子装联先进制造技术的共性部分，即电子装备整机/部件级电子装联绿色制造技术研究和预研成果工程化应用“实体”研究。

思考题 1


- (1) 什么是工艺？
- (2) 工艺研究的内容有哪些？
- (3) 请简述电子装联工艺发展的历程。
- (4) 如何理解电子装联工艺？
- (5) 电子装联工艺学有哪些特点？


第2章 现代电子装联器件封装




本章要点

 概述

 元器件封装引脚

 常用元器件引线材料的镀层

 镀层可焊性的储存期试验及试验方法

 插装元器件

 潮湿敏感元器件

2.1 概 述

2.1.1 封装的基本概念

封装 (Package)，是把集成电路装配为芯片最终产品的过程，简单地说，就是把 Foundry 生产出来的集成电路裸片 (Die) 放在一块起到承载作用的基板上，把引脚引出来，然后固定包装成为一个整体。封装具有保护芯片、增强电热性能、方便整机装配的重要作用。

封装把硅片上的电路引脚，用导线接引到外部接头处，以便于其他器件连接。封装形式是指安装半导体集成电路芯片用的外壳。它不仅起着安装、固定、密封、保护芯片及增强电热性能等方面的作用，而且还通过芯片上的接点用导线连接到封装外壳的引脚上，这些引脚又通过印刷电路板上的导线与其他器件相连接，从而实现内部芯片与外部电路的连接。因为芯片必须与外界隔离，以防止空气中的杂质对芯片电路的腐蚀而造成电器性能下降。另一方面，封装后的芯片也更便于安装和运输。由于封装技术的好坏还直接影响到芯片自身性能的发挥和与之连接的 PCB (印制电路板) 的设计和制造，因此它是至关重要的。

衡量一个芯片封装技术先进与否的重要指标是芯片面积与封装面积之比，这个比值越接近 1 越好。

从工厂出来的硅片是一块块从晶圆上切割下来的，如果不进行封装，既不方便运输、保管，也不方便焊接、使用，而且硅片一直暴露在外也会受到空气中的杂质和水分以及射线的影响，造成损伤从而导致电路失效或性能下降。

以双列直插式封装 (Dual In-line Package, DIP) 为例，如图 2.1 所示简单示意出其封装的过程。晶圆上划出的裸片，经过检测合格后，将其紧贴安放在起承托固定作用的基底上 (基底上还有一层散热良好的材料)，再用多根金属线把裸片上的金属接触点 (Pad, 焊盘) 跟外部的引脚通过焊接连接起来，然后埋入树脂，用塑料管壳密封起来，形成芯片整体。

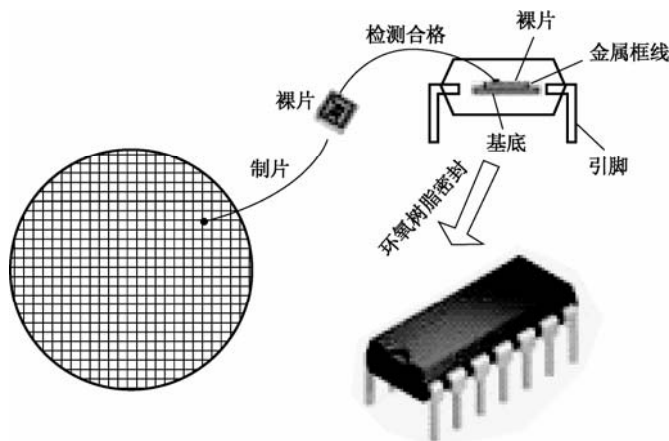


图 2.1 双列直插式封装示意图



衡量因素有以下几点:

(1) 芯片面积与封装面积之比为提高封装效率, 尽量接近 1:1。

(2) 引脚要尽量短以减少信号延迟, 引脚间的距离尽量远, 以保证信号互不干扰, 提高性能。

(3) 基于散热的要求, 封装越薄越好。

封装主要分为DIP(双列直插)和SMD(贴片封装)两种。从结构方面, 封装经历了最早期的晶体管TO(如TO89、TO92)封装发展到了双列直插封装, 随后由Philp公司开发出了SOP小外形封装, 以后逐渐派生出SOJ(J形引脚 小外形封装)、TSOP(薄小外形封装)、VSOP(甚小外形封装)、SSOP(缩小型SOP)、TSSOP(薄的缩小型SOP)及SOT(小外形晶体管)、SOIC(小外形集成电路)等。从材料介质方面, 包括金属、陶瓷、塑料, 很多高强度工作条件需求的电路, 如军工和宇航级别仍有大量的金属封装。

从封装发展角度来看, 封装结构变化趋势为从 TO→DIP→PLCC→QFP→BGA→CSP; 封装材料变化趋势为金属、陶瓷→陶瓷、塑料→塑料; 引脚形状变化趋势为长引线直插→短引线或无引线贴装→球状凸点; 装配方式将从通孔插装向表面组装、直接安装方向发展。

2.1.2 电子封装的三个级别

谈到微电子封装, 首先我们要叙述一下三级封装的概念。一般说来, 微电子封装分为三级, 如图 2.2 所示。所谓一级封装就是在半导体圆片裂片以后, 将一个或多个集成电路芯片用适宜的封装形式封装起来, 并使芯片的焊区与封装的外引脚用引线键合(WB)、载带自动键合(TAB)和倒装芯片键合(FCB)连接起来, 使之成为有实用功能的电子元器件或组件。一级封装包括单芯片组件(SCM)和多芯片组件(MCM)两大类。应该说, 一级封装包含了从圆片裂片到电路测试的整个工艺过程, 即我们常说的后道封装, 还要包含单芯片组件(SCM)和多芯片组件(MCM)的设计和制作, 以及各种封装材料, 如引线键合丝、引线框架、装片胶和环氧模塑料等内容。这一级也称芯片级封装。二级封装就是将一级微电子封装产品连同无源元器件一同安装到印制板或其他基板上, 成为部件或整机。这一级所采用的安装技术包括通孔安装技术(THT)、表面安装技术(SMT)和芯片直接安装技术(DCA)。二级封装还应该包括双层、多层印制板、柔性电路板和各种基板材料、设计和制作技术。这一级也称板级封装。三级封装就是将二级封装的产品通过选层、互连插座或柔性电路板与母板连接起来, 形成三维立体封装, 构成完整的整机系统, 这一级封装应包括连接器、叠层组装和柔性电路板等相关材料、设计和组装技术。这一级也称系统级封装。所谓微电子封装是个整体的概念, 包括了从一级封装到三级封装的全部技术内容。在国际上, 微电子封装是一个很广泛的概念, 包含组装和封装的多项内容。微电子封装所包含的范围应包括单芯片封装(SCP)设计和制造、多芯片封装(MCM)设计和制造、芯片后封装工艺、各种封装基板设计和制造、芯片互连与组装、封装总体电性能、机械性能、热性能和可靠性设计、封装材料、封装工模夹具以及绿色封装等多项内容。

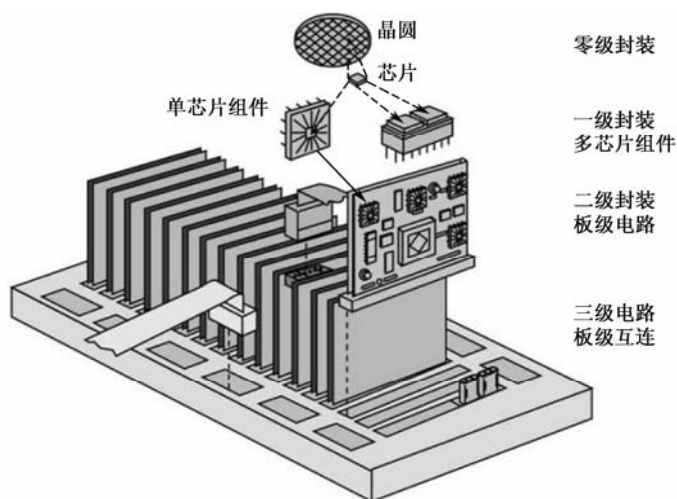


图 2.2 微电子封装

2.2 元器件封装引脚

电子产品是由各种元器件组装而成，在组装过程中最大量的工作就是软钎接。焊接的可靠性直接威胁整机或系统的可靠性，即焊接的可靠性是影响电子产品可靠性的关键因素之一。它直接影响到国计民生各行各业电子产品的可靠性和军事装备的正常运转。有人说：在现代高度信息化战争中，军事行动成败的关键，就取决于电子装备的精度和可靠性。这也是为什么世界各国都非常重视软钎焊技术研究的原因。据统计在手机产品中故障原因的 70% 属焊接质量问题（特别是 BGA、CSP 类芯片），而虚焊、冷焊又是其中最难检查的一类故障。因此，解决软钎接不良问题已成为当代电子工业中关键的技术课题之一。

因此，需要专业人员认真研究现代各类电子元器件引脚（电极）所用基体金属材料及其特性，以及在基体金属上所可能采取的各种抗腐蚀性及可焊性保护涂层材料的焊接性能，涂层在储存过程中发生的物理、化学反应，涂层的成分、致密性、光亮性、杂质含量等对焊接性能的影响，从而优选出其抗氧化能力、可焊性、防腐蚀性最好的涂层，并获得该涂层的最佳工艺条件。

2.2.1 电子元器件引脚（电极）材料及其特性

1. 对电子元器件引脚材料的技术要求

在现代电子产品中，已普遍实现 IC、LSI、VLSI 化，其所使用的引脚（电极）材料越来越受到重视。例如材料的电阻率、热膨胀系数、高温下的机械强度、材质和形状等都必须细致考虑。对现代电子工业用的引脚材料的基本要求是：

- 导电性和导热性要好；



- 热膨胀系数要小；
- 机械强度要大；
- 拉伸和冲裁等加工性能要好。

目前普遍使用的引脚材料可分为 Fe-Ni 基合金和铜 (Cu) 基合金等两大类。

2. 电子元器件引脚材料

1) Fe-Ni 基合金

(1) 特征及应用范围。

Fe-Ni 基合金系中的科瓦合金等品牌,最初是为玻璃封装而开发的。由于其热膨胀曲线与 IC 芯片的 Si 是近似的,如图 2.3 所示,而且还可将其作为 Au-Si 系钎接的焊材进行直接焊接,因此,在 MOS 系列器件中普遍采用其作为引脚材料。

Fe-Ni 基合金系的代表性合金是 42 合金,由于它机械强度大、热膨胀系数小,故广泛应用于陶瓷封装芯片的引脚(电极)材料。

(2) 常用品牌成分及其特性。

主要用于芯片封装的 Fe-Ni 基合金的特性如表 2.1 所示。

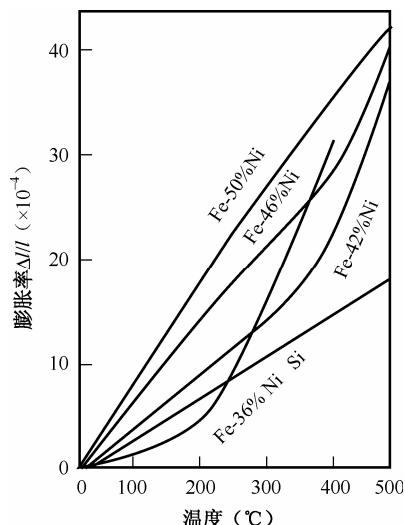


图 2.3 Fe-Ni 基合金和 Si 的热膨胀曲线

表 2.1 用于芯片封装的 Fe-Ni 基合金的特性

合金		42 合金	46 合金	科瓦合金	
特 性					
成 分 (wt%)		Ni	42	46	29
		Co	0.5	0.5	17
		Mn	0.8	0.8	0.5
		Fe	余量	余量	余量
相 似 名 称				可伐合金	
物理性能	密度 (g/cm ³)	8.11	8.24	8.35	
	熔点 (℃)	1425	1425	1450	
	热膨胀系数 (1E-6/℃×10 ⁻⁶)	2.4~7.4	8.2~8.9	4.7	
	热传导率 (cal/cm • sec • ℃)	0.035	0.027	0.039	
	比电阻率 (μΩ • cm)	70	46	49	
机械性能	抗拉强度 (MPa/mm ²)	53	56	53	
	延伸系数 (%)	30	30	30	
	断面收缩率 (%)	70	70	70	
	弹性系数 (MPa/mm ²)	14 800	16 200	14 100	
	泊松比 (横向变形系数)	0.25	0.28	0.30	

由于本合金系存在着磁性及导电率小的特点,故作为引脚材料有其不足之处。因此,它专用于功率消耗比较小、产生的热量比较少的 MOS 类 IC 器件。



2) 铜基合金

当电子电路进入到大集成化、高密度组装化阶段, 发生在其引脚上的电阻热已成为不可忽视的问题。即使是功耗小的 MOS 系列 IC, 改善其散热性也是必要的。因此, 广泛采用导热性和导电性好的 Cu 基合金替代 Fe-Ni 基合金。研究发展不仅导电性和散热性均好, 而且在高温下机械性能也好的新的 Cu 基合金来满足元器件引脚材料的发展要求, 已成为电子元器件业界所关注的问题。具有能用作引脚材料所要求性能的新型 Cu 基合金品牌及特性如表 2.2 所示。

表 2.2 新型 Cu 基合金品牌及特性

合 金		Cu194	Cu195	Cu505	KLF-1	CAC-92
特 性						
成分 (wt%)	Fe	2.3	1.55			
	Zn	0.12				
	Co		0.85			
	Sn		0.55	1.0		2.2
	Ni				3.0	9.0
	Si				0.7	
	P	0.03				
相 似 型 号		余量	余量	余量	余量	余量
物理性能	密度 (g/cm ³)	1090	1090	1075	1090	1125
	热膨胀系数 ($\times 10^{-6}$)	12.4	12.4	19.8	17.0	12.4
	热传导率 (cal/cm ² ·sec·°C)	0.63	0.47	0.49	0.53	0.11
	导电率 (%IACS)	65	50	40	55	11
机械性能	抗拉强度 (MPa/mm ²)	45	49	46	55	60
	延伸系数 (%)	3	—	—	—	—
	弹性系数 (MPa/mm ²)	12 300	12 000	12 000	12 500	14 500
	软化温度 (°C)	400	450	300	450	450

由于 Cu 基合金系导电性和导热性均好, 散热性也不错, 而且与 42 合金相比价格上也有优势, 故广泛应用于塑料封装芯片中。

作为新的 Cu 基合金系列: Cu-Fe-Sn-Co-P、Cu-Sn-Fe-P、Cu-Ni-Si、Cu-Ni-Sn、Cu-Sn-P、Cu-Zn-Fe-P 等具有某些特长的合金也正在开发中。

3) Cu 包不锈钢引脚材料

为了能同时满足机械强度和散热性的目的, 日本正在开发以不锈钢 (SUS430 系) 作为芯材, 再在其两面按 10/80/10 的比例镀无氧铜作为金属包层的新引线材料。

2.2.2 引脚的可焊性涂层

1. 可焊性及其状态分类

1) 可焊性 (Solderability)

可焊性表示金属及其金属涂层表面对软钎料的润湿能力。这种能力通常都是在规定的助



焊剂和温度的条件下,测定熔融焊料在其上的实际润湿面积和润湿的最小时间来评估其优劣的。

2) 可焊性状态分类

钎料在金属及其金属涂层上的润湿状况可分成下述3种类型。

(1) 润湿 (Wetting): 钎料在基体金属表面形成一层均匀、光滑、完整的钎料薄层。

(2) 弱润湿 (Dewetting): 钎料在基体金属表面覆盖了一层薄钎料的表面上,留下一些由钎料构成的不规则的小颗粒或小瘤,但未暴露基体金属。也有人将其叫成“半润湿”。

(3) 不润湿 (Non-wetting): 钎料在基体金属表面仅留下一些分离的、不规则的条状或粒状的钎料,它们被一些小面积薄层钎料和部分暴露的基体金属面积所包围。

2. 可焊性涂层的分类

软钎接过程是熔化的软钎料和被焊的基体金属结晶组织之间通过合金化反应,将金属和金属结合在一起的过程。据目前可知,能和 Sn、Pb 形成合金的元素,如表 2.3 所示。

表 2.3 能和 Sn、Pb 形成合金的元素

金属和合金	能形成合金的元素和合金
Sn	Ag、Au、Bi、Cd、Co、Cr、Cu、Ge、Fe、In、Mn、Mo、Ni、Pb、Pt、Sb、Zn
Pb	Ag、As、Au、Bi、Cd、Cu、Fe、In、Mn、Ni、Sn
Sn-Pb	Ag、Au、Bi、Cd、Cu、Fe、In、Mn、Ni、Sn、Pd、Rh、Pt、Zn、Cu-Ni、Cu-Zn、Cu-Sn、Fe-Ni、Pt-Au、Au-Pd、Sn-Co、Sn-Ni

许多单金属和合金都可以和 Sn-Pb 等钎料发生冶金反应而生成合金,从理论上讲,它们均可以作为可焊性镀层。Rothschild 按焊接时的熔化状态的不同,将其分成以下3类。

(1) 可熔镀层: 焊接温度下镀层金属熔化,如 Sn、Sn-Pb 合金镀层等。

(2) 可溶镀层: 焊接温度下镀层金属不熔化,但其可溶于焊料合金中,如 Au、Ag、Cu、Pd 等,如图 2.4 所示。

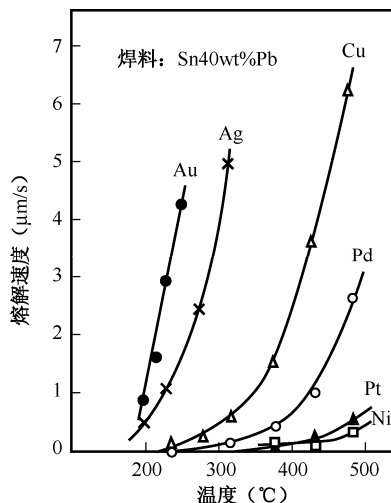


图 2.4 不同金属在 Sn40wt%Pb 中溶解速度



(3) 不熔也不熔镀层：焊接温度下镀层金属既不熔化，也不溶于焊料中，如 Ni、Fe、Sn-Ni 等。

3. 影响引脚镀层可焊性的因素

影响可焊性镀层可焊性的因素有：基体金属镀层本身的性质、引线基体金属表面涂覆、镀层厚度、金属扩散层的影响等。

1) 基体金属镀层本身的性质

(1) 引线涂覆后未能彻底清洗，表面可能有氯离子、硫化物等酸性残留物。这些残留物与空气中的氧和潮气接触后就会使镀层表面氧化。锡或铅的氧化物熔点非常高，如 PbO 熔点为 888℃；PbS 熔点为 1114℃；SnO₂ 熔点为 1127℃。Sn、Pb 等的氧化物在正常焊接温度下不能熔解而形成有害的物质沉积在镀层表面上，使引线可焊性劣化。

(2) 即使表面清洗干净的引线如果储存条件不良，长时间置放在潮湿空气中或有酸、碱等有害气体中，引线表面镀层金属也要发生氧化，使引线表面出现白点、发黄、发黑。

2) 引线基体金属表面涂覆

引线涂覆前，某些金属表面如有金属氧化物或油脂等物质时，这些物质会使金属镀层与基体金属结合力下降，造成虚焊和脱焊。

3) 镀层厚度

镀层太薄或镀层不连续或疏松、有针孔，会影响引线的储存性能，使可焊性能劣化。

Sn、Pb 原子外层均为 4 个电子，在常温下是比较稳定不易被氧化的；而 Cu 原子外层只有一个电子，容易失去，故在常温下是不稳定的。在 Cu 表面镀 Sn、Sn-Pb 合金，能防止 Cu 氧化。但由于镀层疏松有针孔，使基体 Cu 表面与空气之间产生了通道，从而会导致下述两个后果：

(1) 大气中的氧和潮气通过镀层中的针孔与基体金属表面接触，而使基体金属氧化和腐蚀。

(2) 由于 Sn、Pb 的标准电极电位都比 Cu 负，属于阴极性镀层，当潮气通过镀层中的针孔与基体金属表面接触时，便形成一个腐蚀电池，从而使镀层金属 Sn 或 Sn-Pb 合金腐蚀。

经验表明，氧化层的厚度达 4μm 左右即趋于稳定而不再增加，底层是 Cu-Sn 合金层的脆性相，它包封在基体金属的表面，且随温度的升高而增厚。由于该层对焊料是不润湿的，因而降低了可焊性。在 Cu-Sn 合金层和表层氧化层之间的中间才是剩余的可焊镀层。显然只有当可焊性镀层在 8μm 以上时，才能保证具有 3~4μm 的中间层，元器件引脚才能可焊。由此可知，为要保证可焊性好，镀层必须具有 8~10μm 的厚度，且同时要求镀层厚度均匀，表面致密。

4) 金属扩散层的影响

在电镀中镀层 Sn 和 Sn-Pb 合金与基体金属 Cu 表面是原子结合，而热浸涂层 Sn 和基体



金属 Cu 之间存在 Cu_6Sn_5 化合物, 还有微量的 Cu_3Sn 化合物。这种化合物能使镀层 Sn 黏附在基体金属上, 但随时间增长, 基体金属 Cu 向镀层金属 Sn 继续扩散, 镀层表面成为 Cu-Sn 合金, 影响焊接强度, 使可焊性降低。

4. 常见引脚可焊性镀层

1) Au 镀层

(1) 镀层特点。

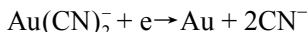
Au: 原子量为 197; 密度为 19.32g/cm^3 ; Au^+ 的电化当量为 $0.1226\text{ g/A} \cdot \text{h}$ 。Au 有很好的装饰性、耐蚀性和较低的接触电阻, 镀层可焊性优良, 易熔于焊料中。其耐蚀性和可焊性取决于有足够的镀层厚度及无孔隙性。薄镀层的多孔隙性, 易发生铜的扩散, 带来氧化问题而导致可焊性变差。而过厚的镀层厚度又会带来不牢固的焊接头。

(2) 工艺方法。

① 电镀 Au。

电镀 Au 机理如下。

常采用不溶性阳极, 在微氰镀液中, Au 以 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 的形式存在, 在电场作用下, 金氰络离子在阴极放电:



在阴极上同时发生析氢反应:



只要镀液中有足够的 Au 氰络离子供应, 阴极上就会不断得到 Au 镀层。

电镀 Au 分为焊接用镀金层和插头镀金。

● 焊接用镀金层。

焊接用镀金层是 24k 纯金, 具有柱状结构, 有极好的导电性和可焊性。

焊接用金层厚度——1 级: $0.025 \sim 0.05\mu\text{m}$; 2 级: $0.05 \sim 0.075\mu\text{m}$; 3 级: $\geq 0.1\mu\text{m}$ ($0.127 \sim 0.254\mu\text{m}$)。

● 插头镀金。

插头镀金也称镀硬金, 俗称“金手指”, 它是含有 Co、Ni、Fe、Sb 等元素的合金层, 它的硬度、耐磨性都高于纯金镀层。硬金镀层具有层状结构, 合金元素含量 $\leq 0.2\%$ 。

② 化学镀 Au。

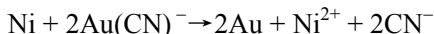
化学镀 Au 机理如下所述。

Au 的标准电极电位为 $+1.68\text{V}$, 这样正的电位说明 1 价 Au 很容易从溶液中析出来。因此, 只需要很弱的还原剂或标准电位比 Au 负的金属就能将其从溶液中还原或置换出来。

化学镀 Au 分类包括化学镀薄金和化学镀厚金。

● 化学镀薄金。

化学镀薄金又称浸金、置换金, 它直接沉积在化学 Ni 的基体上, 其机理为置换反应:



Ni 和 Au 的电极电位相差很大, Ni 可以置换出溶液中的 Au, 当 Ni 表面置换 Au 后, 由于金层多针孔, 其孔隙下的 Ni 仍可继续置换, 但反应速度减慢直至 Ni 全部被覆盖为止。因



此这层金的厚度仅为 $0.03 \sim 0.1 \mu\text{m}$ ，不可能再增厚。

化学镀薄金工艺，既适于锡焊，又是铝基导线压焊的理想表面。

● 化学镀厚金。

化学镀厚金是在化学浸 Au 镀层上进行的，在镀液中加入特殊的还原剂，使在置换与自催化作用下镀金。镀层厚度达 $0.5 \sim 1 \mu\text{m}$ ，特殊要求也可镀 $2 \mu\text{m}$ 。IPC—6012 规定用于焊接的金层厚度为 $0.8 \mu\text{m}$ (max)。

化学镀厚金工艺提供了金丝导线压焊的理想表面。

2) Ag 镀层

(1) 镀层特点。

Ag 在常温下具有最好的导热性、导电性和焊接性，除硝酸外，在其他酸中是稳定的。Ag 具有很好的抛光性，有极强的反光能力，高频损耗小，表面传导能力高。

然而，Ag 对 S 的亲合力极高，大气中微量的 S (H_2S 、 SO_2 或其他硫化物) 都会使其变色，生成 Ag_2S 、 Ag_2O 而丧失可焊性。

Ag 的另一个不足是 Ag 离子很容易扩散和在潮湿环境中沿着绝缘材料表面及体积方向迁移，使材料的绝缘性能劣化甚至短路。因此，不允许在 Ag 上镀 Au，也不允许将 Ag 作为镀 Au 前的中间层，因为 Ag 和 Au 之间扩散很快，Ag 扩散到 Au 层表面时会很快生成 Ag_2S 。

(2) 工艺方法。

① 电镀 Ag。

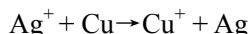
② 化学镀 Ag。

化学镀 Ag 机理：

化学镀 Ag 层本质上也是浸 Ag。Cu 的标准电极电位为 $\phi^\circ \text{Cu}^+/\text{Cu} = 0.51\text{V}$ ，而 Ag 的标准电极电位为

$$\phi^\circ \text{Ag}^+/\text{Ag} = 0.799\text{V}$$

因而，Cu 可以置换溶液中的 Ag 离子而在 Cu 表面生成沉积的 Ag 层，即



溶液中的 Ag^+ 会以络离子状态存在，当 Cu 表面被完全覆盖或溶液中的 Cu 离子达到一定浓度，应即告结束。

化学镀 Ag 层既可以软钎焊，又可“邦定”（压焊），因而普遍受到重视。

3) Ni 镀层

(1) 镀层特点。

Ni：原子量为 58.7，密度为 8.88 g/cm^3 ， Ni^{2+} 的电化当量为 $1.095 \text{ g/A} \cdot \text{h}$ 。Ni 有很好的耐蚀性，在空气中容易钝化，形成一层致密的氧化膜，因而它本身的焊接性能很差。但也正是这层氧化膜使它具有较高的耐蚀性，能耐强碱，与盐酸和硫酸作用缓慢，仅易溶于硝酸。

焊接件镀 Ni 主要是防止底层金属 Cu 向表层 Au 层扩散。实际上是一层阻挡层，故要求镀 Ni 层的应力要低，并且与 Cu 和 Au 层之间结合力要好。

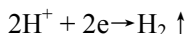
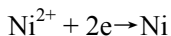


(2) 工艺方法。

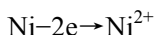
① 电镀 Ni。

电镀 Ni 机理如下。

- 阴极——镀液中 Ni 离子获得电子而沉积在阴极上，并伴有少量的 H₂ 析出：



- 阳极——主要反应为 Ni 的电化学溶解：



Ni 镀层分下述两种。

- 半光亮 Ni：又称低应力 Ni 或哑 Ni，低应力 Ni 宜于钎焊或压焊，通常作为板面镀金。
- 光亮 Ni：可作为插头镀金的底层，根据需要也可作为面层，光亮 Ni 层均匀、细致、光亮，但不可焊，PCB 的光亮 Ni 要求有更好的延展性。

镀 Ni 层应具有：均匀细致、孔隙率低、延展性好的特点、用于钎焊和压焊时适宜采用低应力 Ni。镀层厚度[IPC—6012 规定]：

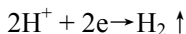
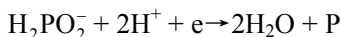
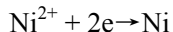
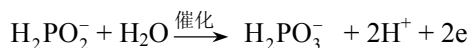
- 不低于 2~2.4μm。
- 打底，1 级：2.0μm；2 级：2.4~3.0μm；3 级：≥3.0μm。

② 化学镀 Ni。

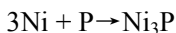
化学镀 Ni 机理如下。

化学镀 Ni 工艺广泛用于金属和非金属表面处理。化学镀 Ni 所用还原剂有次磷酸钠、氨基硼烷、肼等。化学镀 Ni 层的组成，依还原剂不同而不同，如以次磷酸钠为还原剂可含 P (4~14)%，以氨基硼烷为还原剂可含 B (0.2~5)%，以肼为还原剂可得含 Ni 99.5%以上的镀层。

以次磷酸钠为还原剂的化学镀 Ni 溶液中，次磷酸根离子 H₂PO₂⁻在有催化剂（如 Pd、Fe）存在时，会释放出具有很强活性的原子氢。在原子氢析出机理提出不久，W. Machu 提出了电子还原机理：



新生态的 Ni 和 P：



由于化学镀 Ni 层是处于元器件引脚和铜焊盘之间，为保证焊点的可靠性，要求化学镀 Ni 层有较高的延伸率。

化学镀 Ni 层的含磷量：

化学镀 Ni 的含 P 量，对镀层可焊性和耐腐蚀性是至关重要的。一般以含 P (7~9)%为宜（中磷）。含 P 量太低，镀 Ni 层耐腐蚀性差，易氧化。而且在腐蚀环境中由于 Ni/Au 的腐蚀原电池作用，会对 Ni/Au 的 Ni 表面层产生腐蚀，生成 Ni 的黑膜（Ni_xO_y），这对可焊性和焊点的可靠性都是极为不利的。

在基体金属上化学镀 Ni-P 镀层中, P 含量对可焊性的影响描述如图 2.5 所示。

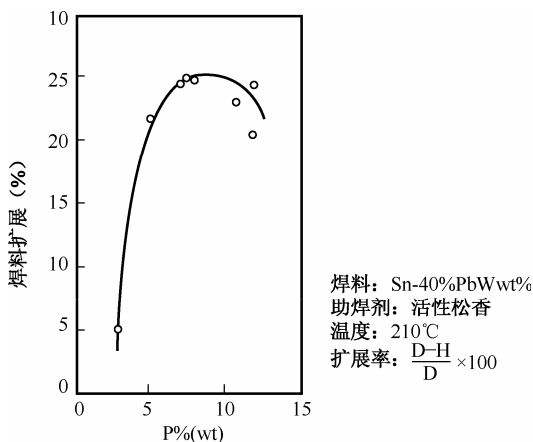


图 2.5 P 含量对可焊性影响

4) Sn 镀层

(1) 镀层特点。

镀 Sn 在钢铁上属于阴极镀层, 只有其镀层无孔隙时, 才能有效地保护钢铁免受腐蚀。Sn 层溶解出来的 Sn 原子对人体的毒性很小, 又能耐有机酸, 故广泛用于罐头工业。

不同的工艺方法获得的镀层, 其焊接性能也是不同的, 如表 2.4 所示。

表 2.4 不同的工艺方法获得的镀层的焊接性能

参 数	工 艺 方 法			
	电镀暗 Sn 层	电镀光亮 Sn 层	化学浸 Sn 层	热浸 Sn 层
成分	99.99%	99.8%	99.99%	99.99%
其他元素	—	C	—	—
分散能力	良好	良好	良好	良好
储存后的可焊性	优良	良好	很差	优良
最小厚度(μm)	5	5	—	—

镀暗 Sn 层外观呈无光泽的灰白色, 其焊接性能比光亮镀 Sn 层好, 但它不能抵抗人手汗渍的污染。镀暗 Sn 层经热熔后, 其可焊性最好, 抗人手汗渍污染能力也大为提高。

光亮镀 Sn 层焊接性能好, 且在工序传递及储存过程中有很好的抗人手汗渍和其他污染的能力。但由于有机添加剂的存在, 在加热时会放出气体, 造成焊缝中出现气泡、裂口等缺陷, 影响焊点的可靠性。

半光亮或光亮的均匀、细密的 Sn 镀层, 具有很好的抗蚀保护能力以及良好的可焊性。而且镀液不含有氟、铅, 有利环保, 纯 Sn 镀层退镀容易, 故近年来应用较广。

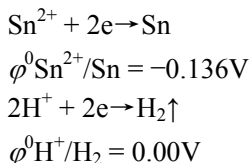
Sn 容易与 Cu 生成金属间化合物, 这种金属间化合物是非可焊的。但一定量的金属间化合物是润湿所必需的, 故 Sn 镀层中应该有一部分用于金属间化合物的生成, 其余部分用于可焊。通常镀 Sn 层厚度为 8~10μm。



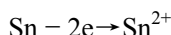
(2) 工艺方法。

电镀 Sn 机理如下所述。

● 阴极反应：



● 阳极反应：



由于纯 Sn 易产生片状晶须以及低温下（12.2℃）存在锡瘟现象，克服上述问题的方法是：在 Sn 中加入少量的其他元素（如铈、锑、铋、铜、银等）生成合金。

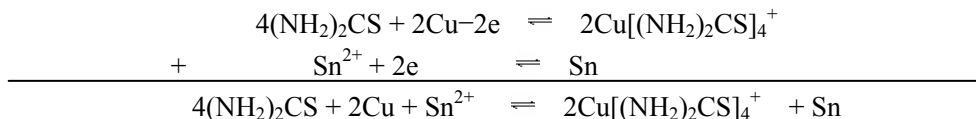
(3) 化学镀 Sn。

在 PCB 裸 Cu 板上化学镀 Sn，也是近年来无铅化过程中受重视的可焊性镀层，此工艺中 Sn 的沉积层是通过金属置换过程而得到的，镀层致密但很薄，而厚的镀层则是疏松的。

化学镀 Sn 机理如下所述。

Cu 基体上化学镀 Sn 本质上讲是化学浸 Sn，是 Cu 与镀液中的络合 Sn 离子发生置换反应，生成 Sn 镀层，当 Cu 表面被 Sn 完全覆盖时，反应即停止。

在普通酸性溶液中，Cu 的标准电极电位为 $\phi^0 \text{Cu}^{+}/\text{Cu} = 0.51\text{V}$ ；而 Sn 的标准电极电位为 $\phi^0 \text{Sn}^{2+}/\text{Sn} = -0.136\text{V}$ 。故 Cu 不可能置换溶液中的 Sn 离子而生成金属 Sn。在有络合物（例如硫脲）存在的情况下，硫脲与 Cu^{+} 生成稳定的络离子，从而改变了 Cu 的电极电位，可以达到 -0.39V ，使 Cu 置换溶液中的 Sn 离子成为可能。此时：



反应式可以向右进行，直到 Cu 表面完全被 Sn 覆盖。

5) Cu 镀层

(1) 镀层特点。

Cu 是一种优良的可焊性镀层，只要它的表面是新鲜的，或者采取了有效的保护（如 OSP）而没有氧化或腐蚀均是如此。细晶粒的镀层比粗晶粒镀层具有更好的可焊性。

(2) 工艺方法（略）。

6) Pd 镀层

化学浸 Pd 是元器件引脚的理想 Cu-Ni 保护层，它既可焊接又可“邦定”（压焊）。它可直接镀在 Cu 上，因 Pd（钯）有自催化能力，镀层可以增厚，其厚度可达 $0.08 \sim 0.2\mu\text{m}$ ；也可镀在 Ni 层上。

Pd 层耐热性高、稳定、能经受多次热冲击。

在组装焊接中，对 Ni-Au 镀层，当镀 Au 层与熔化焊料接触后，Au 被熔入焊料中形成 AuSn_4 ，当在焊料中重量比达 3% 时，焊料会发脆影响焊点可靠性。但被熔的焊料不与 Pd 形



成化合物，Pd 漂浮在焊料表面，很稳定。

由于 Pd 价格贵过 Au，在一定程度上限制了它的应用。随着 IC 集成度的提高和组装技术的进步，化学镀 Pd 在芯片级组装（CSP）上将发挥更有效的作用。

7) Sn 基合金镀层

(1) 涂覆工艺。

电镀 Sn 及 Sn 基合金有三种工艺，其各自的特点如下。

① 电镀：是利用特有的电流效应，镀层厚度可达到 $10\mu\text{m}$ 。经济，工艺操作窗口较宽，涂层可起抗腐蚀作用。

② 化学镀：是将金属盐转换成金属沉积在基体金属上，它要求在镀槽中加入丰富的合适的还原剂（如镀 Ni 用次磷酸盐），化学反应严格，成本较高，涂覆层均匀。

③ 浸镀：无须使用电流，也不需要还原剂，在基体金属表面沉积一层新的金属取代原来的表面金属。涂层厚度有限，化学反应严格，温度很重要。

(2) 常用镀层。

① Sn-Pb 镀层。

镀层特点：

- Sn/Pb 合金镀层在 PCB 生产中可作为碱性保护层，对镀层的要求是均匀、细致、半光亮。
- 电镀镀液有很好的分散和深镀能力，且工艺稳定、便于维修。适用 PCB 制造的主要有氟硼酸盐型和无氟的烷基磺酸盐型。前者因镀液稳定、维修方便、成本低，虽常用但因含氟对环境不利，故后者发展很快。
- Sn-Pb 合金熔点比 Sn、Pb 均低，且孔隙率和可焊性均好。只要含 Pb 量达到(2~3)% 就可以消除 Sn 晶须问题。可在强酸溶液中共沉积，改变两种溶液中金属离子的浓度，即可获得组成成分不同的各种 Sn-Pb 合金镀层。
- 在 PCB 上电镀 Sn-Pb 合金必须有足够的厚度，才能为其提供足够的保护和良好的可焊性。MIL-STD-27513 规定，Sn-Pb 合金最小厚度为 $7.5\mu\text{m}$ 。此规定是由美国宇航局提出，并得到美国空间工业的公认。英国锡研究所提供的报告中也指出 Sn-Pb 合金镀层的最薄厚度为 $7.5\mu\text{m}$ 。
- 普通 Sn-Pb 合金镀层结构是薄片状的，有颗粒状暗外观，镀层多针孔。这种镀层在加工过程中易变色而影响可焊性。经过热熔[红外热熔或热油（甘油）热熔]后，即可得到光亮致密的涂层，提高了抗腐蚀性，延长了寿命。热镀还可使 Sn-Pb 合金镀层中的有机夹杂物受热逸出，可减少波峰焊接时气泡的产生。
- 热熔时，Cu、Sn 间会生成一层薄的金属间化合物，这是润湿所必需的，但其量必须合适，才能提高良好的润湿性，如果量大，反而有害。温度越高，时间越长，越有利于金属间化合物生长，耗 Sn 就越多，这样就可能造成靠近金属间化合物的焊料层富铅，而导致半润湿，影响可焊性。由于金属间化合物是脆的，故过厚了也是有害的。

电镀 Sn-Pb 合金机理如下所述。

Sn：原子量为 118.7；密度为 7.29 g/cm^3 ； Sn^{2+} 电化当量为 $2.214\text{ g/A} \cdot \text{h}$ 。



Pb: 原子量为 207.0; 密度为 11.4 g/cm^3 ; Pb^{2+} 电化当量为 $3.865 \text{ g/A} \cdot \text{h}$ 。

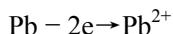
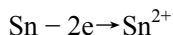
二价 Sn、Pb 的标准电极电位很接近:

$$\phi^0 \text{Sn}^{2+}/\text{Sn} = -0.136 \text{ V}$$

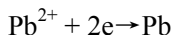
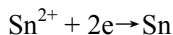
$$\phi^0 \text{Pb}^{2+}/\text{Pb} = -0.126 \text{ V}$$

标准电位只相差 10mV, 二者超电压也很小, 故很容易在不含较强络合剂的情况下实现共沉积。Sn 和 Pb 的标准电极电位均比氢负, 但氢在锡铅合金上析出的过电位较高, 所以它们有可能从酸性镀液中以接近 100% 的电流效率析出合金。在较低的电流密度下, 镀液中金属离子的浓度比相当于镀层中的金属比。所以只要保证阳极成分, 镀液中 Sn^{2+} 和 Pb^{2+} 浓度的比例与阴极镀层相符合, 从而就可得到所需比例的合金镀层。

阳极反应:



阴极反应:



② Sn-Zn 镀层。

Sn-Zn 镀层特点如下。

Sn、Zn 都广泛用于 Fe 的防腐蚀上, 但它们的防腐蚀机理不一样。Sn 是比 Fe 价格贵的金属, 故它是一种阴极镀层, Fe 只有通过 Sn 镀层的孔隙而形成腐蚀微电池, 故锈蚀出现在孔隙处。Zn 是比 Fe 价格便宜的金属, 它是通过自身的阳极腐蚀来保护 Fe 的。Sn-Zn 合金镀层兼备了 Sn、Zn 二金属的优点, 而弥补了它们的缺点。该合金镀层不仅具有很高的耐腐蚀性 (75%Sn/25%Zn), 可焊性很好 (10%Sn/90%Zn), 且不会形成“晶须”。镀层为银白色, 具有镜面光泽, 成本低, 在电子产品中可用于代替 Ag。

电镀 Sn-Zn 合金机理如下。

Sn、Zn 的标准电极电位分别为 -0.136V 和 -0.763V , 二者相差 0.627V 。因此, 在简单的酸性溶液中要共沉积是困难的, 而在碱性溶液中, Sn^{4+} 的标准电极电位为 -0.92V , 二者较为接近, 故 Sn-Zn 合金镀液大部分为碱性的。

③ 镀 Sn-Ce (铈) 合金。

镀层特点如下所述。

镀锡层有生长晶须的危险, 其倾向随 Sn 浓度的提高、内应力的增加等而增加。Sn 还会结构变异低温产生锡瘟。Sn 与 Cu 有互相渗透形成 Cu_6Sn_5 合金扩散层的倾向, 该合金层熔点高而脆, 影响可焊性。因此, 纯 Sn 层不适合于某些微电子器件, 也不适于高密度、细线条、细间距的 PCB。

Sn-Ce 合金所得到的镀层亮度高、抗蚀、改善可焊性, 能细化晶粒, 改善镀层。然而在镀层中几乎测不到 Ce。这种镀层能防止基体 Cu 与 Sn 的相互扩散, 镀层化学稳定性好, 抗氧化能力强, 可焊性稳定。

④ 镀 Sn-Ni 合金。

镀层特点如下所述。

含 Sn65%、Ni35% 的 Si-Ni 合金镀层, 其组成相当于 SnNi, 外观色泽稍带淡红色, 可在



Fe 上直接电镀。该镀层的硬度、耐磨性、抗暗性、抗化学试剂、抗大气腐蚀性等都比单金属 Sn、Ni 镀层优越。由于它同时具有低的电阻和良好的抗腐蚀性,故是一种很好的防腐-装饰镀层。其抗蚀性是由于镀层表面形成的一层极薄而稳定的氧化膜的缘故。然而此氧化膜却大大地降低了该镀层的可焊性,导致其焊接性很差。为了确保其可焊性,推荐在该镀层上再浸镀薄 Au 层 ($0.125\sim 0.25\mu\text{m}$) 或 Sn 层 ($0.625\mu\text{m}$),这样就同时兼顾了焊接性能和耐磨性能。

Sn-Ni 合金镀层可作为 Cu-Sn 或 Cu-Au 的阻挡层,阻挡它们相互间扩散。

Sn-Ni 合金镀层的缺点是它是一种应力镀层,这也是在大多数情况下它比 Sn-Pb 合金镀层差的原因。

⑤ 其他无 Pb 的 Sn 基合金。

无 Pb 合金的可焊性镀层已投入生产的有 Sn/Cu (Cu0.3%),用于电子引线电镀可获得光亮和半光亮镀层。几种镀层的性能比较,如表 2.5 所示。

表 2.5 几种镀层的性能比较 (与 Sn-Pb 比较)

镀 层	镀 层 成 分	熔 点 ($^{\circ}\text{C}$)	电 阻 ($\Omega\cdot\text{cm}$)	延 伸 率	毒 性	成 本
Sn-Pb	63Sn/37Pb	183	14.99	20~30	高	中
Sn	Sn	232	11.5	>30	低	低
Sn-Bi	42Sn/58Bi	138	34.48	20	低	高
Sn-Ag	92.4.5Sn/3.5Ag	221	12.21	73	低	高
Sn-Cu	99.3Sn/0.3Cu	227	11.67	>30	低	低

2.3 常用元器件引线材料的镀层

2.3.1 THT/THD类元器件引脚材料及镀层结构

1. THT 常用的引脚材料

在现代电子工业中,将元器件以高速度成批地焊接在 PCB 上,要求元器件引出线具有瞬间可焊性并在相当长的储存期内保持其可焊性是非常重要的,特别是无铅化元器件尤其如此。

1) Sn 包铜线

(1) 引线特点。

镀锡铜线主要用作电阻引出线,具有良好的焊接性和耐腐蚀性,表面光亮镀 Sn 层厚度要求为:

- 低档产品为应控制在 $3\sim 8\mu\text{m}$;
- 高档产品为 $10\sim 20\mu\text{m}$ 。



(2) 镀层工艺。

① 热浸 Sn。

铜线热浸 Sn 主要工序：酸洗→水洗→浸助焊剂→浸 Sn→冷却→清洗。

当采用真空热浸 Sn 时，可减少 Sn 的氧化损耗，能确保 Sn 层光亮。热浸 Sn 具有下述优点：

- 减少了锡须形成的可能性；
- 生产效率高，从而导致了成本的降低。

热浸锡的最小厚度为 $2.4\mu\text{m}$ 。

② 电镀 Sn。

电镀 Sn 铜线的优点是良好的低温可焊性、耐蚀性、镀层均匀、节约金属。推荐的最小镀层厚度为 $5\mu\text{m}$ 。当在电子工业大生产中采用瞬间自动焊接（如波峰焊焊接）工艺时，通常需要 $8\mu\text{m}$ 的 Sn 镀层。

2) Sn-Cu 包黄铜线

(1) 引线特点。

在黄铜（Cu-Zn 合金）线上直接镀 Sn 时，由于 Zn 比较活泼，极易向 Sn 镀层中扩散，而使可焊性急剧变坏。为了阻止 Zn 的扩散，必须在黄铜上先电沉积一层纯 Cu（或纯 Ni）的阻挡层，其厚度应大于 $2.4\mu\text{m}$ ，然后再电沉积 Sn 镀层。

(2) 镀层工艺（略）。

3) Sn-Cu 包钢丝

(1) 引线特点。

Sn-Cu 包钢丝，常用作电解电容器、涤纶电容器、中频变压器等引线和引出脚。它具有良好的可焊性、导电性、机械强度、铁磁性和成本较低等特点，适用于元器件自动化流水线生产。此类引出线，20 世纪 60 年代开始大量推广应用。

(2) 镀层工艺。

镀 Sn 铜包钢丝，是以低碳钢为芯线，外层依次镀 Cu、Sn 而构成。

4) Sn-Cu 包铁线

(1) 引线特点。

Sn-Cu 包铁线主要用在小直径引线 [$\phi(1\sim 1.27)\text{mm}$] 的电解电容器上。

(2) 镀层工艺（略）。

5) Sn-Cu 包（Fe-Ni）合金线

(1) 引线特点。

Sn-Cu 包（Fe-Ni）合金线的代表性合金是 42 合金，由于它机械强度大、热膨胀系数小，广泛应用于陶瓷封装芯片的引脚（电极）材料及玻璃釉电容器等元器件上。

(2) 镀层工艺（略）。



2. THD 常用的引脚材料

1) Ni-Au 包 Fe-Ni-Co 合金

引线特点如下。

Fe-Ni-Co 合金常称科瓦（可伐）合金，常用的成分主要如下：

- 54%Fe-29%Ni-17%Co;
- 54%Fe-28%Ni-18%Co;
- 52%Fe-28%Ni-19%CoX。

这三种品牌当初都是作为玻璃封装用的合金而开发的。由于其热膨胀曲线与 IC 芯片的 Si 是近似的，而且还可将其作为 Au-Si 系钎接的焊材进行直接焊接。因此，MOS 系器件中普遍采用其作为引脚材料。

金属壳封装的半导体器件（如晶体二极管、晶体三极管）和密封继电器等，其引出线是采用玻璃封结的方法固定在底座上的。所以其引出线普遍采用封结合金——可伐合金，如 SJ-29（52%Fe-28%Ni-19%CoX）。然而可伐合金软钎接性能极差，其可焊性的获得就完全取决于镀层的选择和质量。

可伐合金与纯 Fe 的最大差异是膨胀系数不同，可伐合金膨胀系数小。

2) 镀层工艺

(1) Ni-Au 镀层。

可伐合金引出线一般采用先镀 Ni 再镀 Au。其镀层厚度：

- 军品——镀层总厚度约为 9.8~10 μm 。
- 民品——镀层总厚度约为 3~6 μm 。

对化学镀 Ni-Au 的最基本要求是可焊性和焊点的可靠性，且需经受 2~3 次焊接。

就该镀层的实质而言，化学镀 Ni 是主体，化学镀 Au 只是为了防止 Ni 层的钝化而存在。化学镀 Ni 层厚度为 3~5 μm ，含 P (6~10)%，无定形结构，非磁性。化学镀 Au 纯度为 99.99%，薄金层又称浸金、置换金，其厚度为(0.025~0.1) μm 。化学镀厚 Au 层又称还原 Au，厚度为(0.3~1) μm ，一般在 0.5 μm 左右，镀层硬度 HV_{0.1}60，它应在薄 Au 层上施镀。

(2) 光泽预镀 Cu 后镀 Ag 钝化镀层。

由于 Fe、Ni 的标准电极电位比 Ag 负得多，故可伐合金接触镀 Ag 溶液后极易发生置换反应。这样得到的 Ag 层非常疏松，与可伐合金基体结合力差，可焊性不好。故在镀 Ag 前必须预镀一层标准电极电位介于 Fe 和 Ag 之间的金属，以提高镀层与基体金属间的结合力。预镀 Cu 就是为此目的。

由于镀 Ag 层易与硫化物、卤化物等作用生成硫化银、卤化银，所以必须进行钝化处理。所谓钝化处理，就是特意使 Ag 层表面生成一层由 Cr(OH)₃、Cr(CrO₄)₃ 钝化膜，该膜既有良好的可焊性，又可防止镀 Ag 层与硫化物、卤化物的作用。

据资料介绍光泽镀 Ag 并经钝化处理的镀层在储存两年后，表面虽有少许变色现象，但可焊性仍然很好。虽然镀 Ag 成本较高，但比 Au 便宜。镀 Ag 厚度以 7~10 μm 为宜。此工艺应用于航天器用密封继电器中。



2.3.2 SMC/SMD类元器件引脚（电极）用材料及镀层结构

1. SMC 类

1) 电阻

(1) 矩形固定电阻。

① 外形结构：矩形固定电阻的外形结构如图 2.6 所示。小型电阻组的常见结构如图 2.7 所示。

② 电极构成：端头电极要求可焊性、耐焊性好，与陶瓷基片、电阻膜附着力强。采用三层结构：

- 内层电极为 Ag-Pd 合金层，采用印刷、烧结而成，厚度多 $20\sim 30\mu\text{m}$ ，与电阻膜接触电阻小，与陶瓷基片结合力强。Pd 有抑制 Ag 离子迁移的作用，使电阻器稳定性好。
- 中间层电极采用电镀 Ni，由于 Ni 的熔点高达 1455°C ，可防止内层电极中 Ag 离子在高温、高湿和电场作用下迁移。还可防止当焊接时 Ag 和 Sn 之间的扩散、渗透而生成合金，造成端头电极从电阻膜端头脱离，故该层又称为阻挡层。
- 外层电极又称为可焊层，采用电镀 Sn 或 Sn-Pb 合金，Sn-C 合金，可延长端头电极的保存期和避免 Pb 对环境的污染。

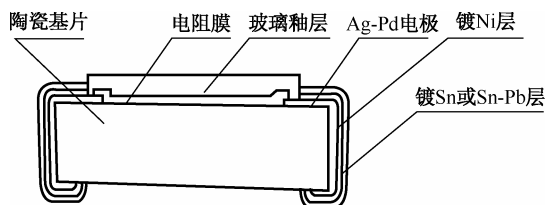


图 2.6 矩形固定电阻

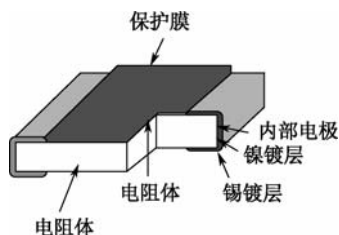


图 2.7 小型电阻体的常见结构

(2) 圆柱形固定电阻。

① 外形结构：圆柱形固定电阻的外形结构如图 2.8 所示。

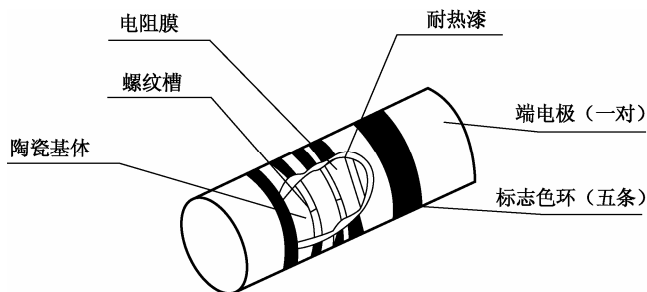


图 2.8 圆柱形固定电阻

② 电极构成：镀 Sn 的 Fe-Ni(42)合金或黄铜帽盖。



2) 电容

(1) 矩形瓷介电容。

① 外形结构：表面安装的矩形瓷介电容外形结构如图 2.9 所示。

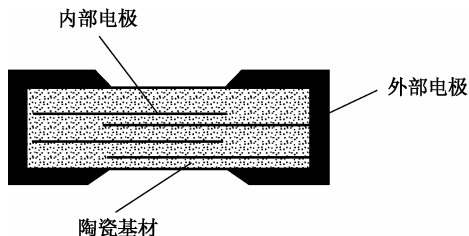


图 2.9 矩形瓷介电容

② 电极构成：作为电极材料的白金、Pd 或 Ag 的浆料印刷在生坯陶瓷膜上，经叠层烧结，再涂覆外电极（Ag-Pd）。外电极常用三层结构：

- 内层 Ag 或 Ag-Pd（80%Ag，20%Pd），厚度为 20~30 μm 。
- 中间镀 Ni 或 Cd，厚度为 1~2 μm ，主要作用是阻止 Ag 离子迁移。
- 外层镀 Sn 或 Sn-Pb，厚度为 1~2 μm ，以改善焊接性，改善焊接处的耐湿性。

(2) 钽电容。

① 矩形钽电容。

在各种电容器中钽电容具有最大的单位体积容量，容量超过 0.33 μF 的表面安装电容通常需要使用钽电容。钽电容的电解质响应速度快，故在大规模 IC 等需要高速运算处理的场合，使用钽电解电容器为好。

● 外形结构：表面安装矩形钽电解电容的外形结构如图 2.10 所示。

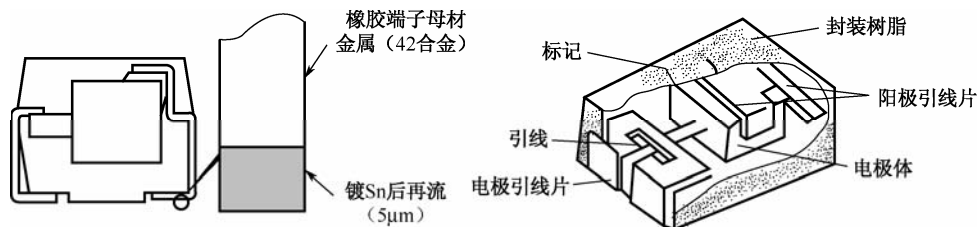


图 2.10 矩形钽电解电容

- 电极构成：矩形钽电解电容以高纯度的钽金属粉末为原料，与黏合剂混合后，将钽引线埋入，加压成型，在 1800~2000 $^{\circ}\text{C}$ 的真空炉中烧结，形成多孔性的烧结体作为阳极。应用硝酸锰发生的热解反应，使烧结体表面被覆固体电解质的二氧化锰作为阴极。在被覆二氧化锰的烧结体上涂覆接触电阻很小的石墨层和涂 Ag 的合金层，焊接阳极端子和阴极端子封装成型。

② 圆柱形钽电容。

● 外形结构：表面安装圆柱形钽电容的外形结构如图 2.11 所示。

- 电极构成：阳极采用非磁性金属，阴极采用磁性金属，传送时可根据磁性自动判别。

圆柱形钽电解电容器由阳极、固体半导体阴极组成，采用环氧树脂封装。将作为阳极引线的钽金属放入钽金属粉末中加压成型，然后在 1650~2000 $^{\circ}\text{C}$ 的高温真空炉中烧结成阳极芯



片，将芯片放入磷酸等赋能电解质中进行阳极氧化，形成介质膜。通过钽金属线与非磁性阳极端子连接后作成阳极，然后浸入硝酸锰等溶液中，在 $200\sim 400^{\circ}\text{C}$ 的气浴炉中进行热分解，形成二氧化锰固体电解膜作阴极。被膜后，在二氧化锰层上沉积一层石墨，再涂 Ag 浆，用环氧树脂封装。

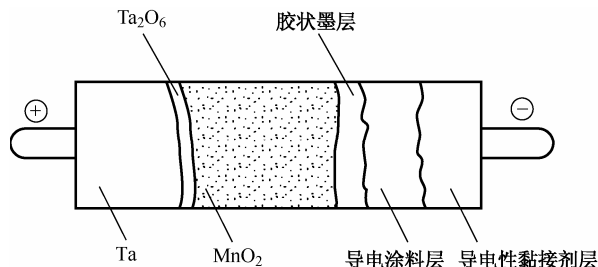


图 2.11 圆柱形钽电容

(3) 铝电解电容。

① 圆柱形铝电解电容。

- 外形结构和电极构成：表面安装圆柱形铝电解电容的外形结构和电极构成如图 2.12 所示。

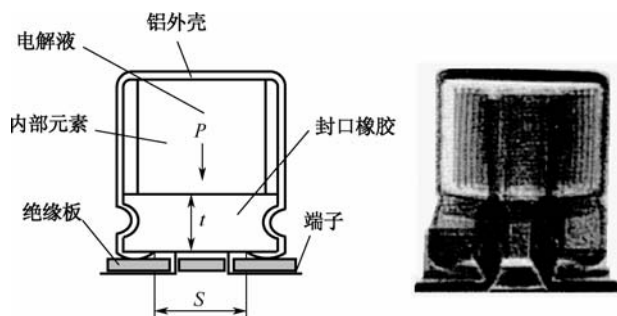


图 2.12 圆柱形铝电解电容

② 矩形铝电镀电容。

- 外形结构和电极构成：表面安装矩形铝电解电容的外形结构和电极构成如图 2.13 所示。

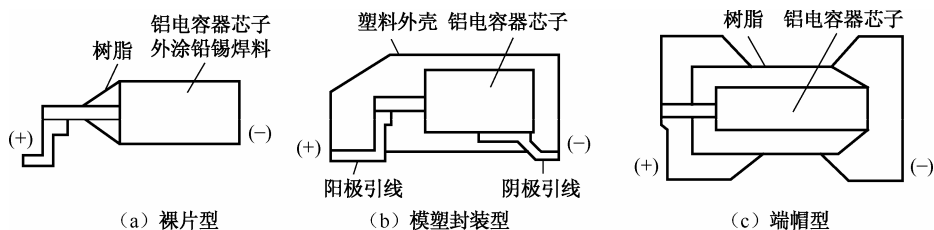


图 2.13 矩形铝电解电容

(4) 表面安装云母电容。

外形结构和电极构成：表面安装云母电容的外形结构和电极构成如图 2.14 所示。

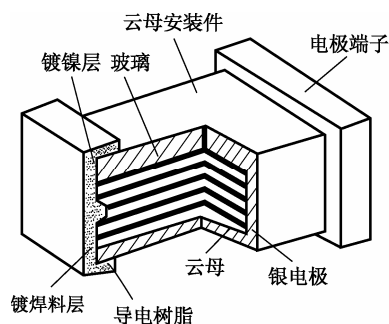


图 2.14 表面安装云母电容

(5) 薄膜电容。

① 矩形薄膜电容。

表面安装矩形薄膜电容的外形结构和电极构成如图 2.15 所示。

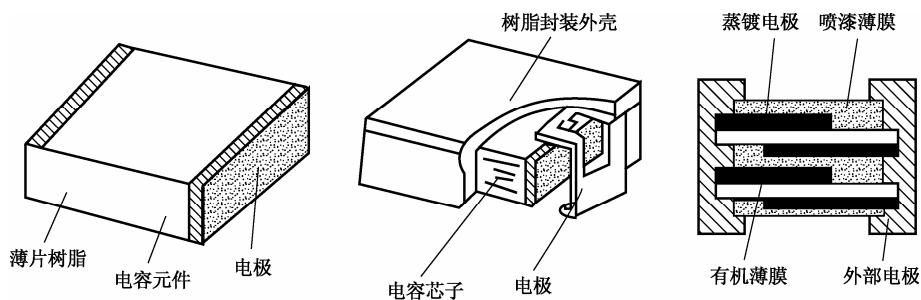


图 2.15 矩形薄膜电容

下面介绍两种典型产品。

● 松下薄膜电容（一）：

外形结构——松下薄膜电容（一）的外形结构如图 2.16 所示。

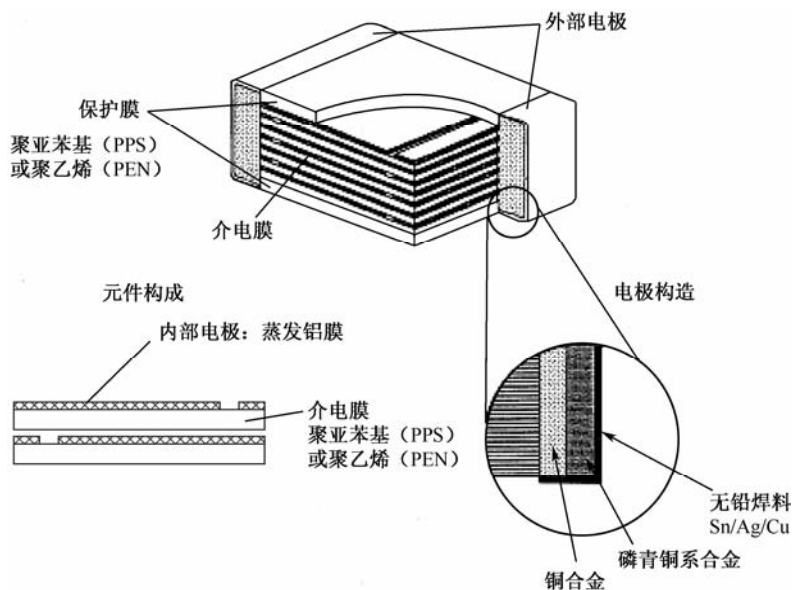


图 2.16 松下薄膜电容（一）



电极构成——内部电极通常采用蒸发铝膜制成。外部电极底层采用镀黄铜，外层则用无铅合金（Sn/Ag/Cu）制成可焊性保护层。为了阻断底层中的 Zn 向表层扩散影响表层的可焊性，在它们之间再涂覆了一层磷青铜系合金作为中间涂层。

磷青铜系合金本身在大气和海水中耐蚀性极好。

● 松下薄膜电容（二）：

外形结构——松下薄膜电容（二）的外形结构如图 2.17 所示。

电极构成——与松下薄膜电容（一）基本相同，唯一的区别就在于外电极中的中间镀层用导电树脂胶替代了磷青铜系合金。

② 圆柱形薄膜电容。

外形结构和电极构成：表面安装圆柱形薄膜电容的外形结构和电极构成如图 2.18 所示。

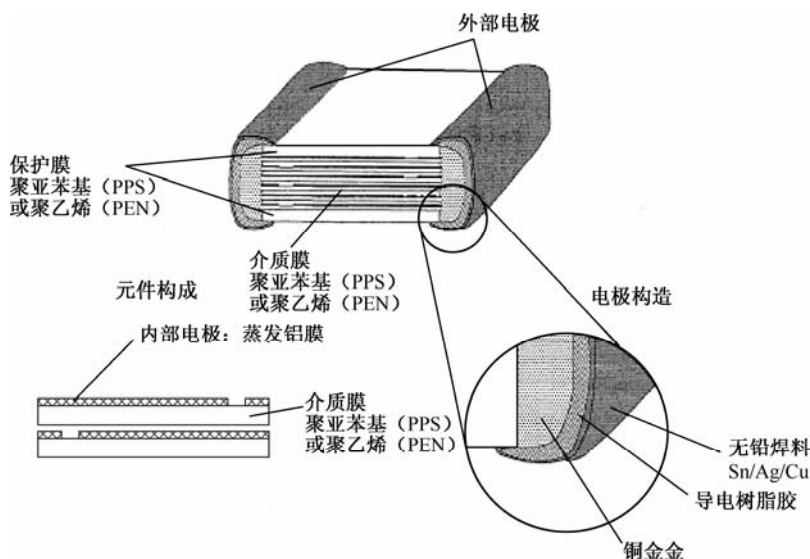


图 2.17 松下薄膜电容（二）

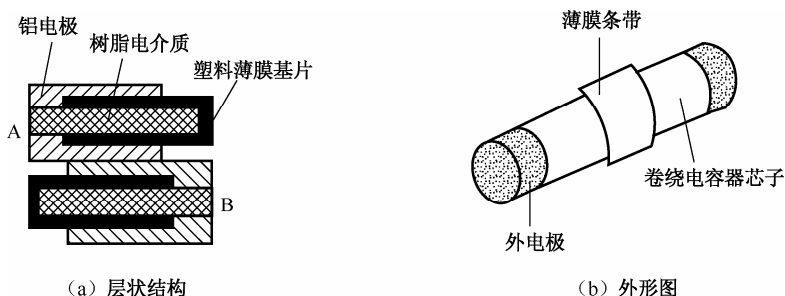


图 2.18 圆柱形薄膜电容

（6）双层叠装式电容器。

① 外形结构：双层叠装式电容的外观如图 2.19 所示。

② 电极构成：双层式电容器的内部结构如图 2.20 所示。内部电极采用活性炭制成，中间用隔离，上盖和下外壳作为外部电极。



图 2.19 双层叠装式电容器

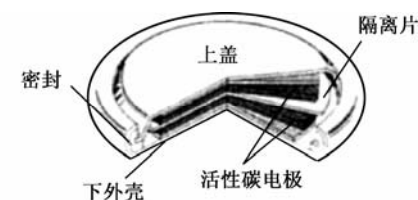


图 2.20 双层式电容器



图 2.21 MIP 系列电感器外形图

3) 贴片电感器

(1) 外形结构。

MIP 系列电感器外形如图 2.21 所示。绕线式电感器和层叠式电感器内部结构分别如图 2.22 和图 2.23 所示。

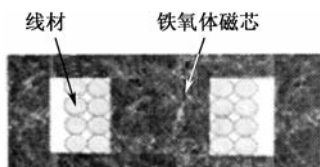


图 2.22 绕线式电感器内部结构

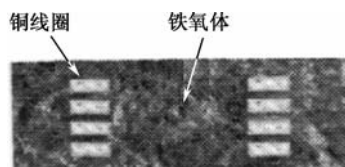


图 2.23 层叠式电感器内部结构

(2) 电极构成。

对 Cu 线圈引线或电极来说可以直接涂覆 Sn，而对铜线圈引脚或电极则须先镀 Cu 或 Ni 作为中间层后再镀 Sn。

2. SMD

(1) 外形结构。

PQFP 封装的引脚框芯片外形结构，如图 2.24 所示。

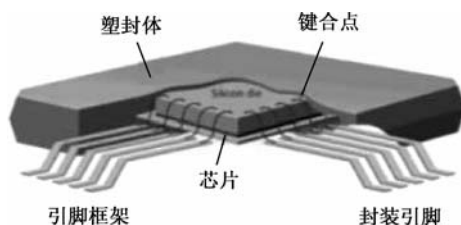


图 2.24 PQFP 封装的引脚框芯片

(2) 电极构成。

首先使用黏接或焊接工艺将芯片固定在引脚框上，然后将引线键合形成有源芯片接点再与封装引脚连接。机械切剪分离引脚与引脚框上的芯片安装平台后，芯片与引脚经注塑模压成常见的黑色塑封体。最后将引脚加工成形为“鸥翼型”或其他标准形式。

封装器件用的引脚框的基本结构是设计成带有定位排、孔的金属带或板，这样的结构使得芯片一旦装片完成，器件被切割分离后，引脚框的一部分就可作为最终塑封器件的引脚。

低价位器件的引脚框常用 Cu 或 Cu-Be(铜-铍)合金制造。引脚框金属带表面镀覆 Sn-Pb



合金、纯 Sn 或 Ag 金属。Sn-Pb 合金一般采用热熔涂覆或焊膏再流工艺。

价位高的或精密的芯片，引脚框采用定位孔金属板结构。引脚框材料有 Cu、Cu 合金，通常是 Cu 芯金属带表面镀 Ni，闪 Au、Pd 或 Au-Pd 复合层，最近也有采用镀 Ag 的。

引脚表面镀覆镀层用于防腐蚀，提供比 Ni 更好的可焊性，且当 Ni 中含有各种磷化合物时，存在严重的反润湿现象。

2.4 镀层可焊性的储存期试验及试验方法

2.4.1 储存期对可焊性的影响

元器件在长期存放过程中，各种镀层金属表面的可焊性均会恶化，而且这种恶化是随着储存期的增加而增加的，如表 2.6 和图 2.25 所示。

表 2.6 不同镀层金属和结构储存可焊性

镀层金属和结构	新鲜材料	24小时蒸汽	21天湿热	6个月正常储存
镀Sn	黑	黑	黑	黑
镀Sn-Pb合金	黑	黑	黑	黑
热滚Sn-Pb合金	白	白	白	白
化学镀Sn (A)	白	白	白	白
化学镀Sn (B)	白	白	白	白
镀Au	白	白	白	白
化学镀Au	白	白	白	白
镀Ag+薄Au	白	白	白	白
镀Sn-Ni+薄Au	白	白	白	白
镀Sn-Ni合金	白	白	白	白
镀Sn-Ni+薄Sn	黑	黑	黑	黑
未涂覆的Cu	白	白	白	白

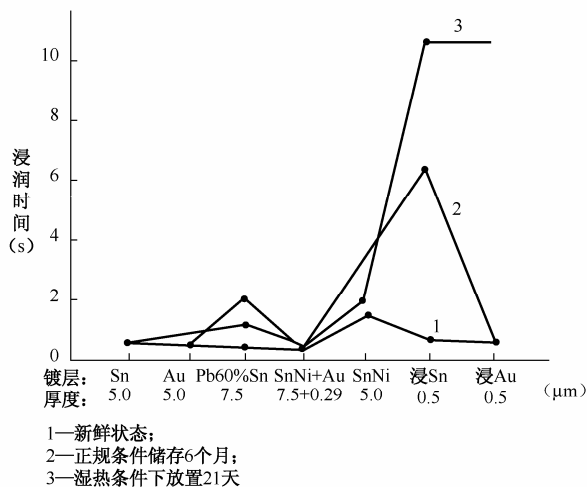


图 2.25 不同储存条件下可焊性



出现上述现象的原因是:

① 金属表面接触空气中的氧气、水分、在个别场合还会有 SO_2 气体、盐雾气之类的腐蚀性气体,生成氧化膜和氯化膜,使金属镀层的可焊性不断劣化;

② 上层镀层与基体金属之间,两种金属原子的扩散形成的金属间化合物,使镀层有所降低,从而使表面可焊性下降。例如,将镀 Sn 导线暴露在 155°C 温度下进行加速老化,就会在基体 Cu 和镀层 Sn 之间形成铜锡金属间化合物的界面层,此界面层持续 16 小时作用后,其厚度将增至 $2\mu\text{m}$ 。这对于镀层较薄或偏心的镀 Sn 引脚而言,可想而知会把镀 Sn 层完全消耗掉,或者将引脚周围的一部分消耗掉,从而在引脚表面上露出金属间化合物界面,这样的表面是很难焊接的。因此,国际锡金属研究协会研究了镀 Sn 层和基体金属之间的相互扩散情况后,提出在镀 Sn 层和基体金属间引进一层阻挡层以延缓金属间化合物的生长速度。

当然在室温下也会形成界面合金层,但是由于这个过程进行得非常缓慢,其厚度经常都不会超过 $1\mu\text{m}$ 。因此,尽管长期存放,可焊性也不会明显改变。

2.4.2 加速老化处理试验

只有那些在老化处理后仍保持良好可焊性的元器件引脚,才能经得起在室温下长期储存而可焊性不会有明显的下降。因此,为了使元器件买方能用加速老化的方法来检查储存后的元器件的可焊性,人们想出了各种加速老化的处理办法,作为鉴定保管期间可焊性历时变化的参考。

1. 国际电工委员会推荐的老化方法

为筛选一种最适宜的加速老化处理方法,以断定那些具有代表性的镀层经长期存放后可焊性的好坏。国际电工委员会推荐的老化方法中,包括 1 小时和 4 小时的蒸汽老化, 155°C 、16 小时的高温老化和 10 天的恒定湿热老化等几种。湿热老化和蒸汽老化的主要影响是表层氧化和腐蚀,而 155°C 的高温老化除了使基体金属表层氧化之外,还将大大加速 Cu-Sn 合金层的形成。显然高温老化对可焊性的影响最为严重,其次是 10 天的湿热老化和 4 小时的蒸汽老化。对于 1 小时的蒸汽老化,按照美国军标 MIL-STD-202F 中试验方法 208D 中的规定,至少相当于具有各种退化效应的综合储存条件下 6 个月的自然老化量。

对于评定长期储存的导线端头可焊性在 155°C 下加速老化 16 小时的方法不适合于快速测定。若一定要在 155°C 下做模拟试验,只要加速老化 4 小时便足够了。

2. 日本土肥信康等人的研究试验结论

日本土肥信康等人通过研究试验则认为:

① 与加热 (150°C 、1 小时) 处理、亚硫酸气体 (25°C 、90% RH、 SO_2 浓度为 2000×10^{-6} 、5 小时) 和盐雾 (35°C 、5% NaCl 水溶液喷雾、5 小时) 处理等方法相比,蒸汽老化 (90%RH、 100°C 、3~24 小时) 是一种条件极为苛刻的加速老化处理方法,它能模拟所有使镀层可焊性恶化的因素,而且使用的设备相对简单,重复性良好,认为是最适宜的加速老化处理方法。

② 对现今电子工业领域中的各类可焊性镀层,为鉴定其长期保管的可焊性,可采用试验条件控制精确度良好的可焊性试验方法,再加上能囊括所有影响可焊性恶化因素的蒸汽老



化处理方法二者的并用。

3. 国内电子业界的试验建议

国内工业部门也有人通过试验后认为：镀层可焊性在自然储存后的变化，通常可通过下述两项等效加速试验来进行模拟。

1) 蒸汽加速老化试验

蒸汽加速老化试验是把样品悬挂在沸腾的蒸馏水表面上，距离水面为 $25 \pm 5\text{mm}$ ，上方，老化时间 $\geq 2\text{h}$ 。据有关资料称，蒸汽加速老化试验 2 小时的可焊性劣化程度与无工业气体的储存室中无包装自然储存 25 个月后的可焊性是等效的。显然要预测 2 年后引线的可焊性，只需进行 2 小时的蒸汽加速老化即可。

2) 稳态湿热加速老化试验

稳态湿热加速老化试验是把样品放入潮湿箱中，温度为 40°C ，相对湿度为 $93 \pm 3\%\text{RH}$ ，老化时间根据使用要求确定。稳态潮湿老化 10 天和无工业气体的储存室中无包装储存 25 个月后的可焊性是等效的。

2.4.3 可焊性试验方法及其标准化

1. 可焊性测试的意义

在 IPC 标准中，可焊性定义为“金属被焊料润湿的能力”。而润湿作用的广义定义为“在基材上形成一层相对均匀、平滑、无裂缝黏附着的焊料薄膜”。

可焊性鉴定很难避免主观因素，早期的测试仪几乎无法避免主观上带来的误差，测试速度也慢，不能适应高产量的生产技术要求。因此，在此期间美国的生产技术是以一定的废品率作为适应大量生产为代价的，可焊性的测试技术一直停滞不前。然而，由于目前劳动力费用持续走高，加上高密度组装产品价格昂贵，废品损失费高，可靠性问题也越发突出，因而减少焊接故障率已到了不容忽视的地步。从而使得曾经只是欧洲人所关心的可焊性测试在美国变得更为重视了。这种发展趋势由于技术上的不断进步（加快测试速度，减少主观影响）而不断增长。

2. 焊接过程中与可焊性相关的物理参数

可焊性可通过与焊接工艺中相互关联的若干物理参数来评定。这些性能通常包括润湿角、漫流面积、漫流速度、毛细扩散和上升、润湿时间、焊后的表面光整度等来综合评估。

可焊性测试的目的：从产品质量管理角度出发，建立起对元器件供应商确保产品质量的一种手段和责任。以大幅度消除焊接缺陷，降低产品的返修率，提高生产效率，降低制造成本。

3. 可焊性测试、方法及标准化的变迁

1) 可焊性和可靠性

评价可焊性的内涵包含下述三个方面的约定：

- ① 熔化焊料对基体金属的润湿性；
- ② 焊料和基体金属的接合性；
- ③ 接合部的可靠性。

上述三个约定中，①是表述可焊性的一项最重要的内容。一般来说润湿性好接合性也好，然而润湿性好不一定就说明焊接部的可靠性就高。例如，以 Sn 基焊料焊接 Au 系基体金属就是一个典型例子。

由此可以定义：容易润湿母材，而且还能获得机械强度好的接合部，这时的焊料或母材才是可焊性好的焊料或可焊性好的母材。

可焊性和焊接接合部的可靠性之间有着密切的关系，在通用情况下可焊性好的其焊接接合部的可靠性也高，因而焊接接合部的可靠性可由母材的可焊性的定量测定来评价。然而高可靠性的接头是由可焊性好的母材，焊料及助焊剂等综合要素来获得。正是由于可焊性是受母材、焊料、助焊剂、焊接条件（温度、时间）等参数的综合影响，因而只有对这些影响参数一一作出定量评估，才有可能对整体的可靠性作出客观的评价。

2) 可焊性测试方法的分类

可焊性的评估方法，有多种方法和方案，综合起来可归纳如图 2.26 所示。

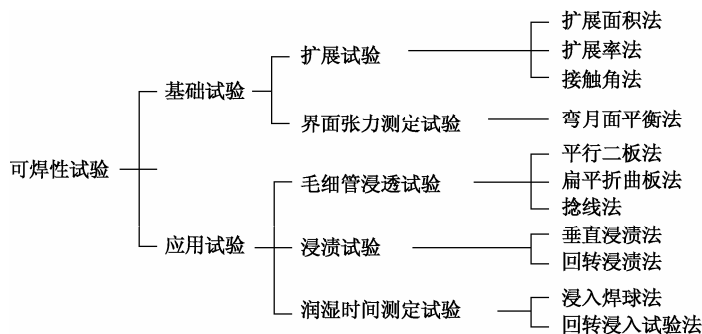


图 2.26 可焊性测试方法分类

(1) 扩展试验。

扩展试验法是通过熔融焊料在母材上的扩展性能来评价的一种方法，它是通过对扩展面积、扩展率和接触角等参数的测定来描述的。

① 扩展面积法（JIS-Z-3197）。

它是在规定的焊料量和特定的工艺条件下，通过测定该定量焊料在母材上的扩展面积的大小来评定的，扩展的面积越大可焊性越好。

本法不需要特别的试验装置，具有简单而且只需要定量的焊料就能进行可焊性的定性评估等优点。它也能用于助焊剂的性能试验。



② 扩展率法 (ASTM-B-545)。

扩展率法是通过一定量的焊料球在母材上的扩展率来评价的, 如图 2.27 所示。

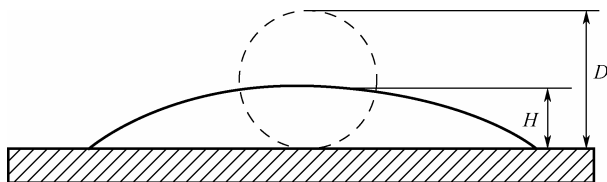


图 2.27 扩展率法

扩展率的定义为

$$\text{扩展率}(\%) = [(D-H)/D] \times 100$$

式中 H ——扩展后焊料中心高度 (mm);

D ——试验用焊料球的直径 (或计算直径) (mm)。

一般 $D = 1.24V^{1/3}$, 其中 V 为焊料的体积。

与扩展面积法相地, 扩展率法具有定量的特点。但在焊料扩展不均匀的情况下, H 的测定较困难。

ASTM 规定的试验温度为 $-250 \sim +250^{\circ}\text{C}$

③ 接触角 (θ) 法。

焊料润湿接触角 (θ) 的测定是在扩展试验样品的中心沿扩展面的垂直方向进行切片, 再采用显微镜摄影来直接测定。也可利用焊料的扩展情况, 用图 2.28 所示的球的一部分来简化模拟, 并按下式来间接求得:

$$\text{接触角}(\theta) = 2\text{tan}^{-1}(h/x)$$

式中 h ——扩展焊料的高度;

x ——扩展焊料 (圆形) 的半径。

测试的接触角 (θ) 越小, 表明焊料的扩展性越好, 即可焊性越好。

(2) 界面张力测定试验。

界面张力测定试验也有叫成润湿测力试验的, 它是基于对母材和焊料之间相互作用的界面张力来测定可焊性的, 目前应用最广的界面张力测定方法是弯月面平衡法 (MIL-P-55110A)。弯月面法是测试 PCB 导体表面可焊性的一个方法。它是定量并能直接记录焊料润湿过程的唯一方法, 而且还能被应用于对可焊性试验过程中的种种润湿现象进行解析。这种测定法的装置外观如图 2.29 所示。

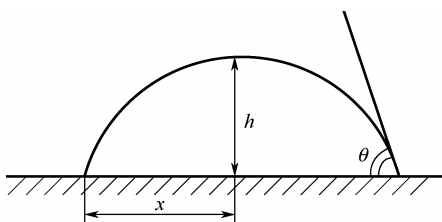


图 2.28 接触角测定简化模型



图 2.29 界面张力测定法装置

弯月面法试验装置如图 2.30 所示。试验样品和所用夹具如图 2.31 所示。

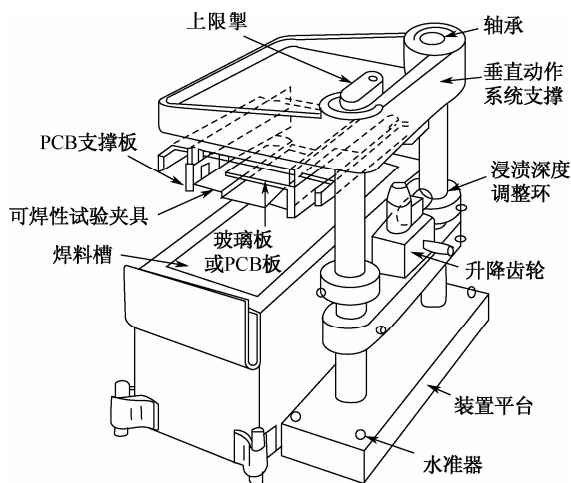
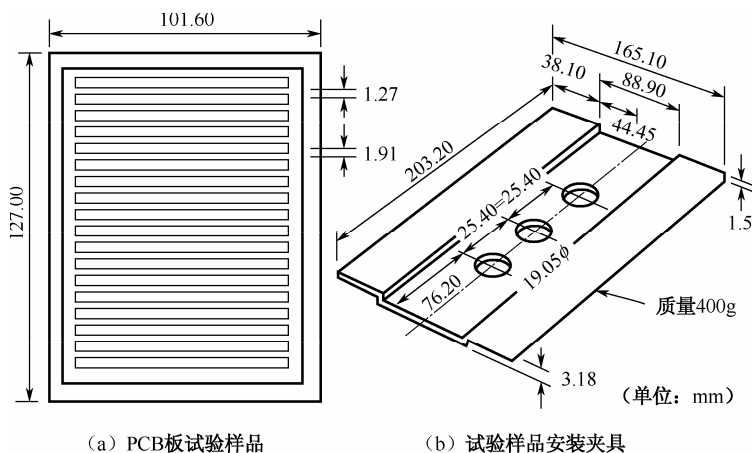


图 2.30 弯月面法试验装置



(a) PCB板试验样品

(b) 试验样品安装夹具

图 2.31 弯月面法试验样品和所用夹具

测试方法是先将试验样品安装在夹具上再浸渍熔融焊料，试验样品的导体面位于夹具中央部孔的上面，焊料通过夹具中央的孔向试验样品导体表面扩展，再根据焊料的润湿情况来评估。界面张力试验测试原理如下。

将试验样品浸渍在熔融焊料槽中时，由于浮力作用以及在试验样品，焊料和助焊剂界面上的各种表面张力的作用，试验样品受到一个合力。如果记录到这些力的合力就能够反映出弯月面的特征，因而能够反映出接触角的特征，从而也就能反映出可焊性的优劣。

由于弯月面平衡法能够定量地测定这些力随时间的变化关系，因而也就可以间接地获得接触角 θ 随时间的变化关系，从而将和焊接过程相关联的现象定量地描述出来。

该测量法的原理，如图 2.32 所示。

把试验样品（板或线）的一端浸入熔融焊料中，正确地测定由于焊料润湿作用在试验样品上的附着张力随时间的变化规律，即作用在试验样品上的润湿力，如图 2.33 所示。

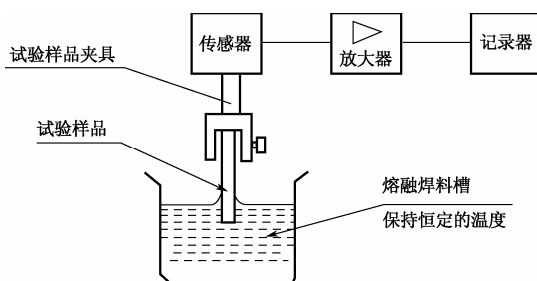


图 2.32 界面张力测定法测试原理

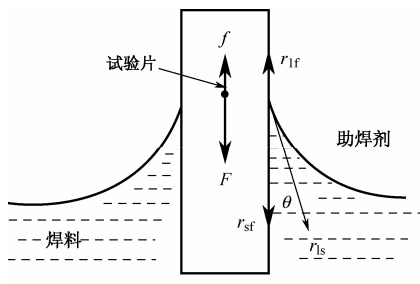


图 2.33 焊料在测试样品上的润湿力

附着张力方向是指向下的，而母材受到的浮力是朝上的，此二力的差可表示成下式：

$$F = r_{lf} \cos \theta \cdot 2\pi r^2 \rho g h$$

式中 F ——作用在试验样品上的力（润湿力）；

r_{lf} ——焊料的表面张力，焊料和助焊剂的界面张力；

θ ——接触角；

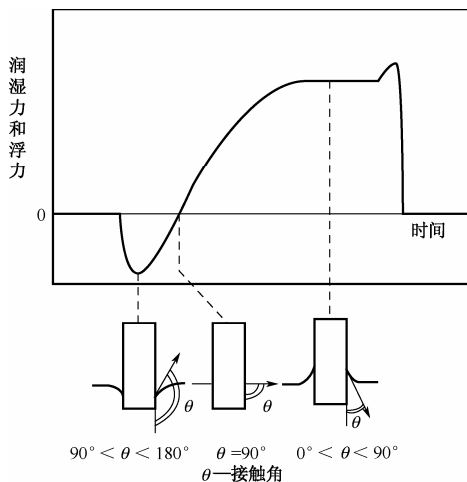
r ——试验样品的半径；

ρ ——焊料的密度；

g ——重力加速度；

h ——浸渍深度。

如果把试验样品从浸入熔融焊料中到提升出来，则 F 随时间和接触角的变化关系如图 2.34 所示。

图 2.34 F 随时间和接触角的变化关系



试验结果解析如下。

① 曲线形状。

关于弯月面法的典型的润湿曲线如图 2.35 所示，其润湿过程可分为三个阶段。

- 第一阶段（ $a-c$ ）：润湿尚未到开始的时间（试验样品受浮力等所形成的斥力作用）。
- 第二阶段（ $c-f$ ）：润湿进行时间（随着润湿的进行，接触角减小，润湿力增加）。
- 第三阶段（ $>f$ ）：润湿力达到最终值。

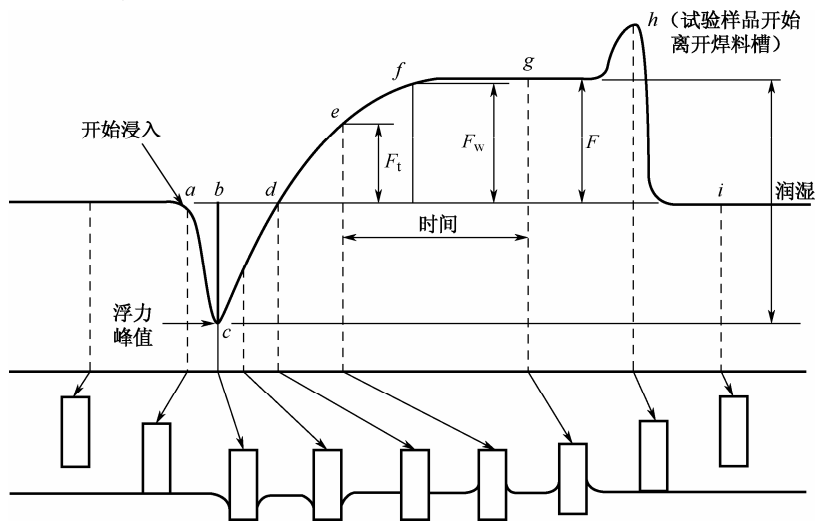


图 2.35 弯月面法的典型的润湿曲线

在图 2.34 中，可以看出：

- 时间 a 点：试验样品进入焊料槽（受到由浮力和表面张力的垂直分量形成的斥力作用）。
- 时间 b 点：试验样品进入钎料槽的终点，最大斥力。
- 时间 c 点：润湿开始（由于表面张力垂直分量的变化，作用于试验样品上的斥力逐渐被引力代替）。
- 时间 d 点：零交时间 t_d （斥力和引力达到平衡）。
- 时间 e 点：润湿力变化达到 F_w 的 $2/3$ 的时间 t_e ，即 $F_e = (2/3)F_w$ 。
- 时间 f 点：润湿力达到最大变化值 F_w 的时间 t_f 。
- 时间 g 点：力达到均衡。
- 时间 h 点：试验样品开始离开焊料槽。
- 时间 i 点：试验结束。

② 在润湿面线上最主要的特征数据：

- 润湿力为零的时间（零交时间 t_0 ）；
- e 点时间（即润湿力变化达到 $\frac{2}{3}F_w$ 的时间 $t_{(\frac{2}{3}F_w)}$ ）；
- 润湿力变化达到最大值（ F_w ）的时间 t_{F_w} ；
- 力达到均衡值（ F ）的时间。

在润湿曲线上通常是根据设定的零交时间（ t_0 ）和 F_w 来测定 F 值和达到 F_w 的时间。例



如, MIL-STD-883B 标准规定取 $F_w = 300 \text{ dyne/cm}$, t_d 为 0.59 s , $t_e \leq 1 \text{ s}$ 。

对于电子业界批量焊接组装的元器件, 要求从 t_a 到 t_d 的时间 $\leq 1 \text{ s}$ 。

③ 图形曲线的陡度评估。

图形曲线的陡度就是指从润湿开始到润湿力变化达到最大值这一过程中曲线的斜度, 也就是说从 t_d 到 t_f 这一时间段润湿力的变化速率。

如图 2.36 所示, 从浮力的最大点 (t_b) 到润湿力变化的最大值 F_w 的变化是呈如下指数函数规律增加的, 即

$$F_t = F_w(1 - e^{-t/\tau})$$

式中 F_t ——以最大浮力时间 t_b 作为起点, 润湿力随时间 t 的变化;

F_w ——润湿力的最大变化值;

τ ——时间常数。

从上式可知, 当 $t = \tau$ 时, 则

$$F_t = 0.632 F_w \approx \frac{2}{3} F_w$$

显然 τ 越小, 曲线越陡, 可焊性越好, 如图 2.37 所示。

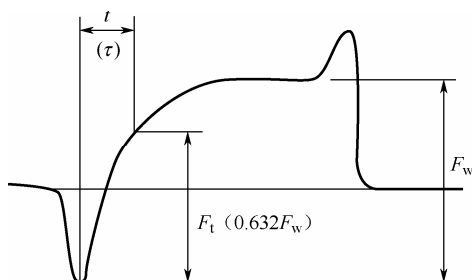


图 2.36 浮力的最大点 (t_b) 到润湿力变化的最大值

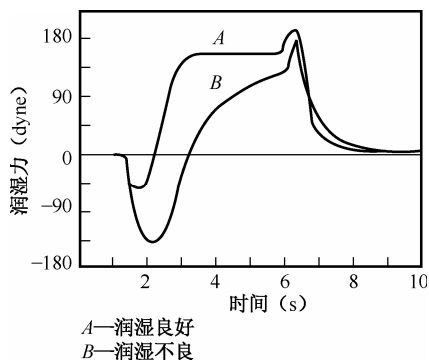


图 2.37 润湿力随时间变化

(3) 毛细管浸透试验。

毛细管浸透试验是基于熔融焊料由于毛细管作用, 对母材间缝隙而形成的浸透现象。根据其浸透距离 (垂直上升的高度) 来进行评估的。其试验的示例形式, 如图 2.38 所示。

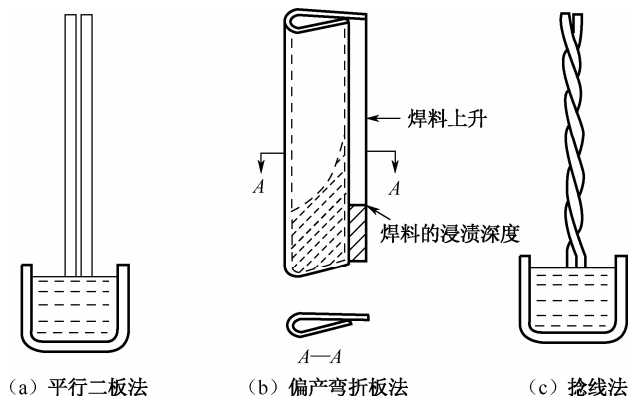


图 2.38 毛细管浸透试验示例

(4) 浸渍试验法。

① 垂直浸渍法。

该法是以表面张力和毛细作用力共同对浸入熔融焊料中的试验样品的作用力为基础。当试验样品浸入时，这两种力随时间而变化。起初，垂直浸入的试验样品引起表面一起向下，表面张力以一个可以测出的力阻止试验样品浸入。当试验样品润湿时，形成的弯月边缘即转换方向，最终在试验样品的表面升高，此时试验样品上的作用力也改变了方向，趋势是将试验样品往下拉。测试仪器测量并记录这些变化的力对时间的函数关系。

此法由于涉及的力较小，故它适合于比较小的试验样品。该测试装置的外观结构，如图 2.39 所示。

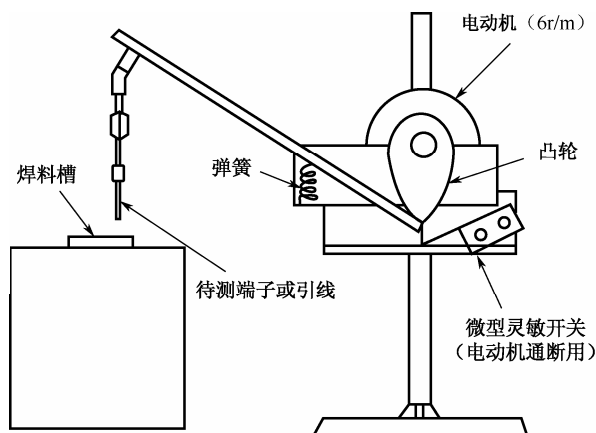


图 2.39 转动浸渍试验法测试装置的外观结构

② 回转浸渍法（BS4025）。

转动浸渍法装置的原理结构，如图 2.40 所示。

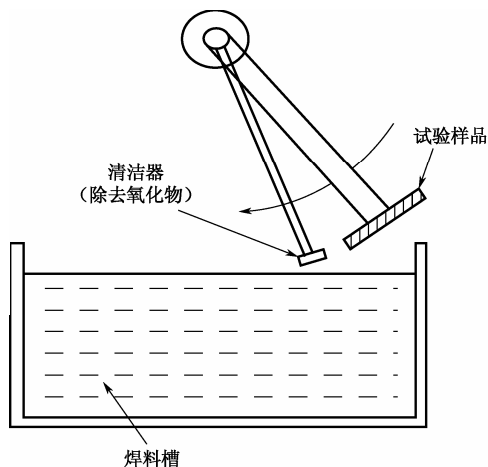


图 2.40 转动浸渍法装置的原理结构

它是将试验样品安装在旋转杆上，试验样品的一个面沿水平方向浸渍熔融焊料，以目视比较的方式评估可焊性的。它适用于 PCB 金属化孔的可焊性检测。



(5) 润湿时间测定法。

润湿时间测定法是通过测定焊料对母材均匀润湿的时间来评估，实用的方法介绍如下。

① 焊球法 (ASTM-B-545)。

焊球法是以测定元器件引脚的润湿时间为目的的，所以又称为润湿时间法。该法也被国际电工委员会 (IEC68-2-20) 推荐为元器件引线的标准测试方法。

该方法对仪器的基本要求是有一个使一定质量的焊料球加温并控制在规定温度的装置、焊料球自动升降机构、元器件引线夹持定位机构及探针计时系统等构成，如图 2.41 所示。

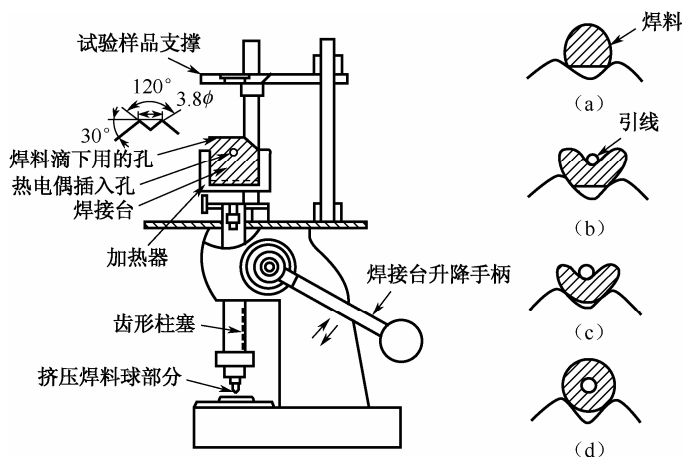


图 2.41 焊球法测试仪器构成

测试程序：先将焊料球加温并控制在规定的温度，然后将经过涂覆助焊剂处理的元器件固定在夹持定位机构上，调整记录探针使其与元器件引线的距离为最小（但不能接触引线）。当启动机器后，升降机便带动焊料球上升，当焊料球与引线接触时，记录系统开始计时，如图 2.41 (a) ~ (d) 所示。从计时开始到计时结束之间的时间即为引线的润湿时间。该时间越短，可焊性就越好。

② 旋转试验法。

旋转试验所用装置与图 2.38 相同，把试验样品浸渍熔融焊料，测定其达到均匀润湿的最小润湿时间。

3) 可焊性测试方法标准化

用于评价可焊性的标准很多，从工业部门到军事机构均曾采用过各自的内部标准，从而使标准化测试问题变得更复杂。例如，在军事领域的 MIL-STD-883B、2202 方法承认弯月平衡法测定，而 MIL-P-55110 事实上却采用端部浸焊试验，基本上与 IPC-S-801 所述一致。而 IPC 又已采用 MIL-STD-454 的有关素材，编成相应的 IPC-S-815A。电子工业协会 (EIA) 的可焊性测试标准 RS-178-A 采用的端部浸焊测试与相应的 IPC 标准的有关内容一致。EIA 标准 RS-186-9E 采用元器件引线端浸渍试验。IPC-S-815A 则参考了测定印制板可焊性的 EIA 标准 RS-319-A。此外，IPC-S-815A 又将元器件引线可焊性归纳到 MIL-STD-202 的 208 方法中去了，等等。



直到 1998 年, IPC 公布了下述两个标准并被正式采纳为美国国家标准:

① J-STD-002——“元器件引线、焊端、接线端和导线的可焊性”, 取代了原来的 IPC-S-805。

② J-STD-003——“印制板可焊性测试”, 取代了原来的 IPC-S-804。

至此, 上述两个标准便成为国际上公认的可执行标准。

2.5 插装元器件

2.5.1 插装元器件的形式

插装元器件: 是指元器件电气信号由引脚引线引出, 通过将引线插入 PCB 的通孔, 并焊接实现元器件在 PCB 上的安装和固定。

典型的插装元器件主要有 TO (Transistor Outline) 型、SIP (Single In-line Package) 型、DIP (Double In-line Package) 型、PGA (Pin Grid Array, 针栅阵列) 型高可靠性的金属封装。

2.5.2 常见插装元器件方向/极性的识别

对插装封装器件来讲, 在插装时必须正确地识别各类器件的极性, 以防止插装时出现错误, 影响电气性能。

1) 电阻

所有电阻, 包括热敏电阻、压敏电阻、金属膜电阻没有方向性。

2) 电容

陶瓷电容: 没有方向性。

独石电容: 没有方向性。

固体钽电容: 在电容本体上印有“+”号的引脚为正极, 如图 2.42 (a) 所示。

聚酯电容: 没有方向性。

电解电容: 在电容本体一侧印有白色 (或黑色) 条形标志的引脚为负极, 如图 2.42 (b) 所示。

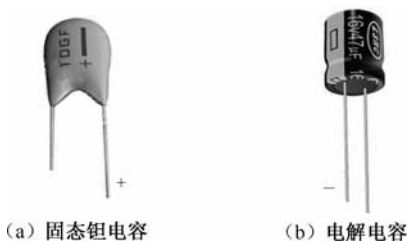


图 2.42 电容极性示意图



3) 二极管

普通二极管：有白色（或黑色）环形标识的一端为负极，如图 2.43（a）所示。

LED 发光二极管：LED 内部较小的引脚是正极，如图 2.43（b）所示。

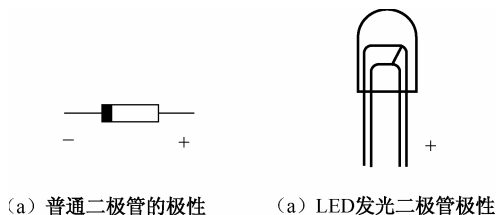


图 2.43 二极管的极性示意图

4) DIP

双插直列 IC：从正面（有文字的一面）看去，将有半圆缺口的一侧朝左，则缺口下面的引脚为第 1 脚，有些 IC 在第 1 脚上面有一个凹点，如图 2.44 所示。

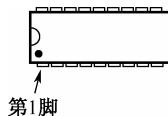


图 2.44 DIP 封装第 1 脚标识示意图

5) 晶振

两脚晶振：分立式、卧式两类，均无方向性。一般要将晶振有文字的一面朝向，以便检查。

四脚晶振：晶振有 3 个角是圆角，1 个角是直角。直角对应的引脚是第 1 脚，通常还会印有一个圆点标识，如图 2.45 所示。

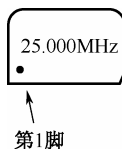


图 2.45 晶振第 1 脚标识示意图

6) 电感

两脚功率电感：没有方向性。

共模电感：两边有线圈缠绕，通常器件上还会印有一个白点标识，白点下面的为第 1 脚，如图 2.46 所示。



图 2.46 共模电感第 1 脚标识示意图

7) 变压器

变压器本体上印有一个圆点，这个圆点对应的引脚是第 1 脚，如图 2.47 所示。



图 2.47 变压器第 1 脚标识示意图

8) 继电器

一般继电器正面有一侧会印有白色（或黑色）条形，将有标识的一侧向左，标志下面的脚是第 1 脚，如图 2.48 所示。



图 2.48 继电器第 1 脚标识示意图

9) 电阻排

在电阻排的侧面印有一个圆点标识的引脚是第 1 脚，如图 2.49 所示。



图 2.49 电阻排第 1 脚标识示意图

10) 厚膜电路

在厚膜电路没有元器件的一面，靠近印有一个圆点的引脚是第 1 脚，如图 2.50 所示。

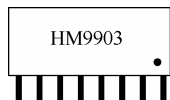


图 2.50 厚膜电路第 1 脚标识示意图

11) 插座

双插直列 IC 插座通常按照缺口进行识别，同 IC 的识别方法。

PLCC IC 插座：有 3 个角是直角，1 个是斜角，按照斜角进行识别，如图 2.51 所示。

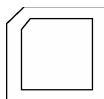


图 2.51 PLCC IC 插座标识示意图



12) 直式焊接插座

有缺口的按缺口进行识别,如图 2.52 (a) 所示;有锁片按锁片进行识别,如图 2.52 (b) 所示。

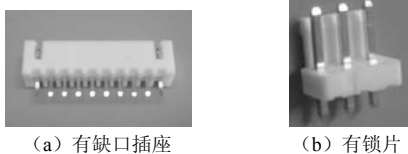


图 2.52 直式焊接插座标识示意图

13) 扁平电缆插座

一般插座上有一个小▽,▽下面对应的为第 1 脚,通常插座上还会有一个缺口,如图 2.53 所示。



图 2.53 扁平电缆插座标识示意图

14) 三极管

半圆形三极管按照 PCB 上的丝印符号进行识别,插装带有金属面的三极管:凡是要卧倒插装的,一般都是金属面朝 PCB。

15) 开关

轻触开关:没有方向性。

编码开关:在开关的顶面上,有用 1、2、3、…数字表示的序号,在数字 1 的位置引脚为第 1 脚,如图 2.54 所示。



图 2.54 编码开关标识示意图

16) 电池

在电池的一端有一个“+”号的引脚为第 1 脚,如图 2.55 (a) 所示;将电池“锁片端”对应 PCB 上的“+”标识,如图 2.55 (b) 所示。

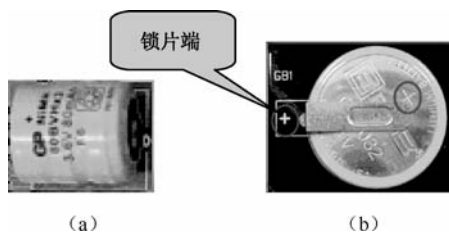


图 2.55 电池标识示意图

17) 蜂鸣器

在蜂鸣器上的标签纸上有“+”号的引脚为第 1 脚，如图 2.56 所示。



图 2.56 蜂鸣器极性标识示意图

18) 电位器

在电位器上有一个调节头，以调节头来识别，如图 2.57 所示。



图 2.57 电位器极性标识示意图

2.5.3 常用插装元器件在印制电路板上的丝印标识

对于插装器件，在印制电路板上设计出一定的丝印可以方便在插装时准确地寻找位置，特别是有极性的插装器件，必须把极性在 PCB 上丝印出来。表 2.7 给出了常见插装器件在印制电路板上的丝印标识。

表 2.7 常见插装器件在印制电路板上的丝印标识

封装器件	丝印说明	印制电路板标识	备注
电阻	此器件没有极性		
电容	没有方向性，丝印都用方框表示		包括陶瓷电容、独石电容、聚酯电容
固体钽电容、电解电容	丝印上有正极标志		
普通二极管	丝印上有条形标志的为负极		
LED 发光二极管	丝印上有极性标志		



续表

封装器件	丝印说明	印制电路板标识	备注
DIP	双插直列 IC 在 PCB 上的丝印有一个缺口, 插装 IC 时将缺口方向对正即可		
电感	两脚功率电感: 无方向性, 丝印一般是圆形 共模电感: 此电感的丝印有线圈标识, 插装时共模电感的线圈与丝印对应。器件上的白点标识对应丝印方孔		
电源模块	丝印一般是模块的外形		
两脚晶振	分立式, 卧式两类, 均无方向性		
四脚晶振	晶振有 3 个角是圆角, 1 个角是直角		
变压器	有些变压器是防呆设计, 引脚不对称		如果变压器引脚对称, 则丝印上有缺口标志, 丝印或者元器件白点对应丝印方孔
继电器	有些继电器是防呆设计, 引脚不对称		如果继电器引脚对称, 则丝印上有一侧有条形标志将继电器的标志对正即可
电阻排	电阻排的丝印是长条形。排阻的第 1 脚是 PCB 上有一个方形插件孔		
厚膜电路	厚膜电路的丝印是长条形。第 1 脚是 PCB 上有一个方形插件孔		
PLCC IC 插座	以斜角来标识第 1 脚		
直式焊接插座	有缺口的插座以缺口对应丝印缺口, 有锁片的以锁片对应小长方形		
扁平电缆插座	插座丝印有个方孔为第 1 脚, 一般丝印中间还会有一个缺口		



续表

封装器件	丝印说明	印制电路板标识	备注
插针	在插针丝印一端标有“1”字		
	用方形插件孔做第1脚		
	用斜角来区别第1脚		
三极管	半圆形三极管的丝印		
	带有金属面的三极管, 卧倒插装的丝印		
	采用立式插装的		
开关	轻触开关: 没有方向性		
	编码开关: 在丝印框外的一角有一个圆圈标识, 逆时针数第1个焊盘为第1脚丝印		
保险丝	没有方向性, 丝印都用方框表示		
电池	丝印旁边一般有“+”极标识		
蜂鸣器	丝印上有正极标识		
电位器	电位器的第1脚是PCB上有一个方形插件孔, 一般丝印外也会有一个圆圈标识		
放电管	有两种, 均没有方向性		

2.5.4 插装元器件的引脚成型

1. 元器件成型的基本规定

1) 引脚长度定义

长插: 引脚长度 ≤ 25 mm。

短插: 元器件的有效引脚长度定义, 如图 2.58 中的 L 所示。

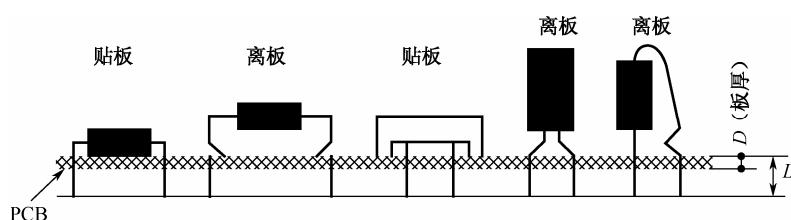


图 2.58 短插元器件

2) 引脚有效长度 L 的确定

元器件成型的有效引脚长度值(如果引脚有弯折,以元器件引脚弯折部的下端点(或面)的以下部分为有效引脚长度)。其值可按: $L=3.0\pm0.3\text{mm}$ 确定。

3) 引脚跨距 X

引脚跨距定义为两引脚中心线之间的距离,用符号 X 表示,其加工尺寸精度为 $X\pm0.5\text{mm}$ 。

4) 插针成型

对弯脚插针和直脚插针均采用相应的切断工具机成型,具体针数由产品工艺文件确定。

5) 发光二极管套管长度的确定

发光二极管套管长度以 2 增值,即套管长度尺寸系列为 10、12、14、16、18 等,其加工尺寸精度为 $y\pm0.5\text{mm}$ 。

2. 主要元器件成型方式

1) 符号标识

成型中所使用的符号标识定义如下:

R——电阻;

C——电容;

D——二极管;

HL——发光二极管;

T——三极管;

L——电感;

G——晶体振荡器。

按成型方式的不同,其分类编码依次以 a、b、c、d……来区分,例如不同成型方式的电阻元器件,其形式方式编码型谱为 R_a 、 R_b 、 R_c ……

2) x 、 y 、 z 值的确定

x 、 y 、 z 值由产品工艺文件给出,加工中可直接查询产品工艺文件获得。

3) 成型规范型谱结构形式

(1) 电阻成型规范型谱。

电阻成型规范形谱： R_a 、 R_b 、 R_c 等的成型结构形状依次如图 2.59 所示。

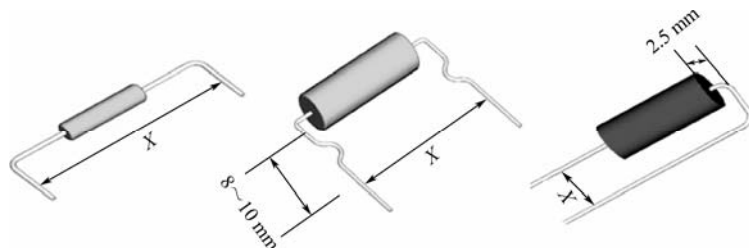


图 2.59 电阻 R_a 、 R_b 、 R_c 的结构形状

(2) 电容成型规范型谱。

电容成型规范型谱： C_a 、 C_b 、 C_c 、 C_d 、 C_e 、 C_f 、 C_g 、 C_h 等的成型结构形状依次如图 2.60 所示。

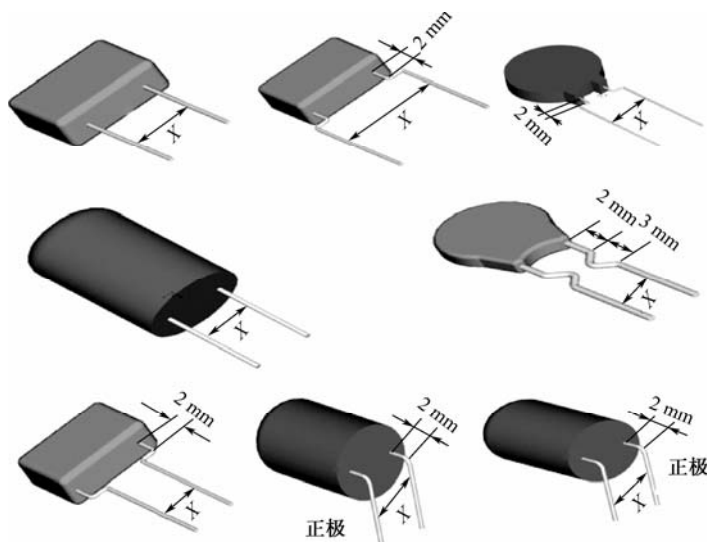


图 2.60 电容 C_a 、 C_b 、 C_c 、 C_d 、 C_e 、 C_f 、 C_g 、 C_h 的结构形状

(3) 二极管成型规范型谱。

二极管成型规范型谱： D_a 、 D_b 、 D_c 、 D_d 等的成型结构形状依次如图 2.61 所示。

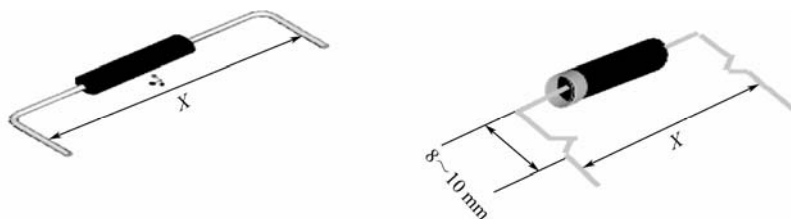
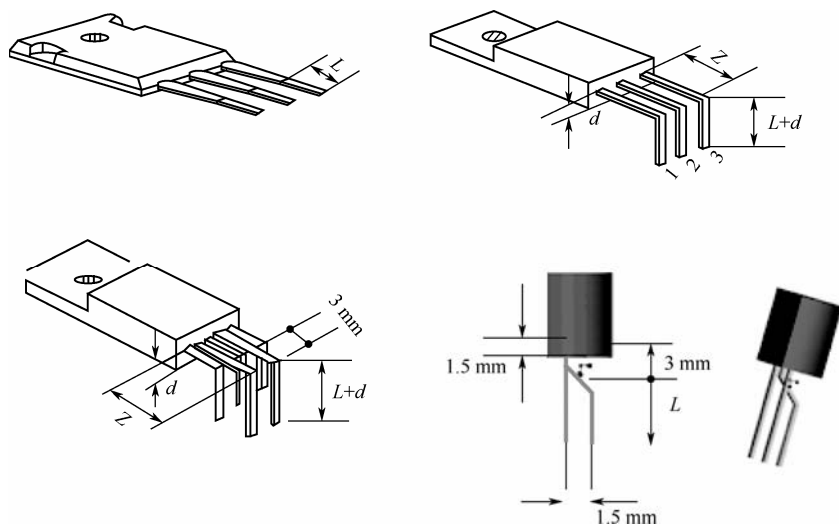


图 2.61 二极管 D_a 、 D_b 、 D_c 、 D_d 的结构形状

图 2.61 二极管 D_a 、 D_b 、 D_c 、 D_d 的结构形状 (续)

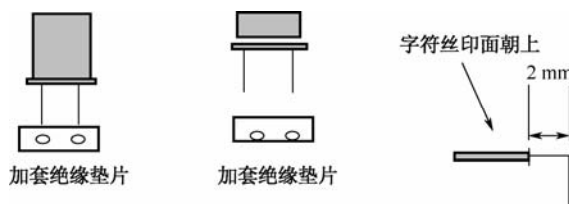
(4) 三极管成型规范型谱。

三极管成型规范型谱: T_a 、 T_b 、 T_c 、 T_d 等的成型结构形状依次如图 2.62 所示。

图 2.62 三极管 T_a 、 T_b 、 T_c 、 T_d 的结构形状

(5) 晶体振荡器成型规范型谱。

晶体振荡器成型规范型谱: G_a 、 G_b 、 G_c 等的成型结构形状依次如图 2.63 所示。

图 2.63 晶体振荡器 G_a 、 G_b 、 G_c 的结构形状

(6) 发光管(指示灯)成型规范型谱。

发光管(指示灯)成型规范型谱: HL_a 、 HL_b 、 HL_c 、 HL_d 、 HL_e 、 HL_f 、 HL_g 等的成型结构形状依次如图 2.64 所示。

(7) 电感成型规范型谱。

电感成型规范型谱: L_a 、 L_b 等的成型结构形状依次如图 2.65 所示。

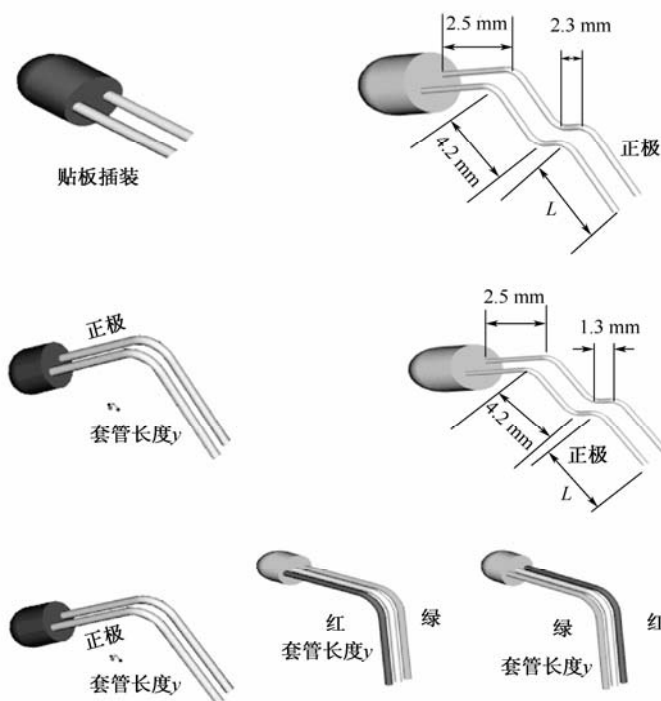


图 2.64 发光管 HL_a、HL_b、HL_c、HL_d、HL_e、HL_f、HL_g 的结构形状

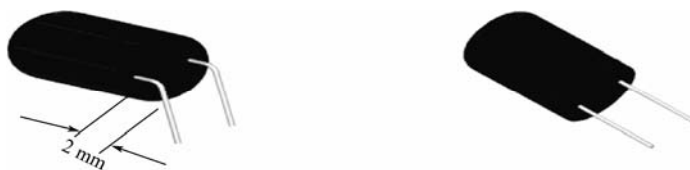


图 2.65 电感 L_a、L_b 的结构形状

(8) IC、光耦成型规范型谱。

用 IC 整形机将双列直插式 IC、光耦进行整形，使 IC、光耦引脚表面成 90°，整形方法参照 IC 整形作业指导书。

2.6 潮湿敏感元器件

2.6.1 基本概念

潮湿敏感元器件是在储存、运输和安装等过程中，非密封塑封元器件因吸收空气中潮气而诱发损伤，这样的元器件统称为潮湿敏感元器件（Moisture-Sensitive Device，MSD）。

当 MSD 暴露在再流焊接升高温度的环境时，因渗入 MSD 内部的潮气蒸发产生足够的压力，使封装塑料从芯片或引脚框上分层、线捆接和芯片损伤及内部裂纹，在极端情况下，裂纹延伸到 MSD 表面，甚至造成 MSD 鼓胀和爆裂，这就是人们所说的“爆米花”现象。



1. MSD 的敏感度

MSD 受潮湿气体影响的敏感程度称为敏感度，其分级如下：

- 1 级——小于或等于 30℃/85% RH，无限车间寿命；
- 2 级——小于或等于 30℃/60% RH，1 年车间寿命；
- 2a 级——小于或等于 30℃/60% RH，4 周车间寿命；
- 3 级——小于或等于 30℃/60% RH，168 小时车间寿命；
- 4 级——小于或等于 30℃/60% RH，72 小时车间寿命；
- 5 级——小于或等于 30℃/60% RH，48 小时车间寿命；
- 5a 级——小于或等于 30℃/60% RH，24 小时车间寿命；
- 6 级——小于或等于 30℃/60% RH，标签上的时间。

2. 湿气传输率

湿气传输率（WVTR）指塑料薄膜或金属化塑料薄膜材料对湿气的渗透能力，是衡量防潮袋性能优劣的一项重要指标。

3. 车间寿命

当车间环境温度/湿度 $\leq 30^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$ 时，MSD 从包装防潮袋中取出到再流焊接前，在车间允许暴露的最大时间。

4. 库存寿命

库存寿命是根据湿度显示卡（以下简称 HIC）读数，存储在仓库中的 MSD，在未开封的 MBB 内层中保持预定干燥度的最小时间。

5. 制造暴露时间

制造暴露时间（MET）是 MSD 按制造商要求烘烤完成后到包装袋封口前的最大时间。它还包括配送时对已开封的 MSD 小批分散传递过程中允许的最大暴露时间。

6. 干燥包装

干燥包装是一种由干燥剂袋、湿度指示卡（HIC）、MSD 和防潮袋等共同构成的一种包装形式，如图 2.66 所示。

原存放在真空袋中的元器件，当开袋后，应重新干燥和封口。如果累计暴露时间不超过 1 小时，原来的干燥剂可再使用。否则应重新置换活性干燥剂。

7. 湿度显示卡

湿度显示卡（HIC）是一种印有对潮湿敏感的化学物质的卡片，HIC 上至少应该有 3 种颜色的点，分别对应湿度敏感度值为 5%RH、10%RH、15%RH，如图 2.67 所示。

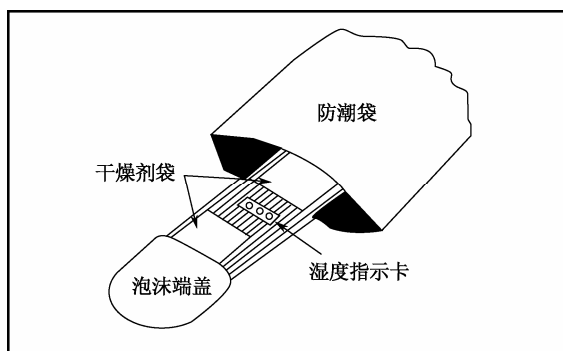


图 2.66 干燥包装

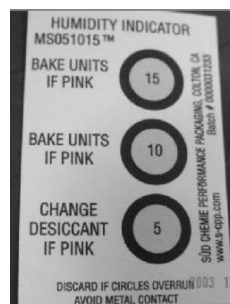


图 2.67 湿度显示卡 (HIC)



图 2.68 6 种颜色点湿度显示卡 (HIC)

HIC 也有 6 种颜色点的, 它们分别对应的敏感度值为 10%RH、20%RH、30%RH、40%RH、50%RH、60%RH, 如图 2.68 所示。

当它的颜色由蓝色转变为粉红色时, 即表示相对湿度超标了。该卡片与干燥剂一起装入 MSD 包装袋中, 以标识该 MSD 的潮湿等级。HIC 应符合 MIL-8835 标准。

2.6.2 MSD 的分类以及 SMT 包装袋分级

1. MSD 的分类和分级

当封装材料为酚醛树脂、联苯、多功能环氧树脂、硅树脂等化合物封装的 MSD 时, 其分类随封装结构形式、封装体的厚度和环境温度的不同而不同, 如表 2.8 所示。

表 2.8 酚醛树脂、联苯或多功能环氧树脂封装器件在 20℃、25℃和 30℃时的分类和分级

元器件类型体和厚度	M.S.等级	最大相对湿度百分比和车间寿命 (天)								
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	
体厚度 $\geq 3.1\text{mm}$, PQFP >84 引脚, PLCC (正方形) MQFP 或 PBGA	等级 2a	∞	60	41	33	28	10	7	6	$\leftarrow 30^{\circ}\text{C}$
		∞	78	53	42	36	14	10	8	$\leftarrow 25^{\circ}\text{C}$
		∞	103	69	57	47	19	13	10	$\leftarrow 20^{\circ}\text{C}$
	等级 3	10	9	8	7	7	5	4	4	$\leftarrow 30^{\circ}\text{C}$
		13	11	10	9	9	7	6	5	$\leftarrow 25^{\circ}\text{C}$
		17	14	13	12	12	10	8	7	$\leftarrow 20^{\circ}\text{C}$
	等级 4	4	4	4	3	3	3	2	2	$\leftarrow 30^{\circ}\text{C}$
		5	5	5	5	4	3	3	3	$\leftarrow 25^{\circ}\text{C}$
		7	7	7	7	6	5	4	4	$\leftarrow 20^{\circ}\text{C}$
	等级 5	3	3	2	2	2	2	1	1	$\leftarrow 30^{\circ}\text{C}$
		5	4	4	3	3	2	2	2	$\leftarrow 25^{\circ}\text{C}$
		7	6	5	5	4	3	3	3	$\leftarrow 20^{\circ}\text{C}$
	等级 5a	1	1	1	1	1	1	1	1	$\leftarrow 30^{\circ}\text{C}$
		2	2	2	2	2	1	1	1	$\leftarrow 25^{\circ}\text{C}$
		4	3	3	3	2	2	2	2	$\leftarrow 20^{\circ}\text{C}$



续表

元器件类型体和厚度	M.S.等级	最大相对湿度百分比和车间寿命(天)								
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	
2.1mm≤体厚度<3.1mm, PLCC(矩形) 18~32引脚, SOIC(宽体)≥20引脚, PQFP≤80引脚	等级 2a	∞	∞	86	39	28	4	3	2	←30℃
		∞	∞	148	51	37	6	4	3	←25℃
		∞	∞	∞	69	49	8	5	4	←20℃
	等级 3	19	12	9	8	7	3	2	2	←30℃
		25	15	12	10	9	5	3	3	←25℃
		32	19	15	13	12	7	5	4	←20℃
	等级 4	5	4	4	3	3	2	2	1	←30℃
		7	5	5	4	4	3	2	2	←25℃
		9	7	6	6	5	4	3	3	←20℃
	等级 5	3	3	2	2	2	1	1	1	←30℃
		4	3	3	3	3	2	1	1	←25℃
		5	5	4	4	4	3	3	2	←20℃
	等级 5a	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	←30℃
		2	2	2	2	2	1	1	1	←25℃
		2	2	2	2	2	2	2	1	←20℃
体厚度<2.1mm, TSOP, SOIC<18引脚, TQFP或TBGA	等级 2a	∞	∞	∞	∞	28	1	1	1	←30℃
		∞	∞	∞	∞	∞	2	1	1	←25℃
		∞	∞	∞	∞	∞	2	2	1	←20℃
	等级 3	∞	∞	∞	11	7	1	1	1	←30℃
		∞	∞	∞	14	10	2	1	1	←25℃
		∞	∞	∞	20	13	2	2	1	←20℃
	等级 4	∞	9	5	4	3	1	1	1	←30℃
		∞	12	7	5	4	2	1	1	←25℃
		∞	17	9	7	6	2	2	1	←20℃
	等级 5	13	5	3	2	2	1	1	1	←30℃
		18	6	4	3	3	2	1	1	←25℃
		26	8	6	5	4	2	2	1	←20℃
	等级 5a	3	2	1	1	1	1	1	0.5	←30℃
		5	3	2	2	2	1	1	1	←25℃
		6	4	3	2	2	2	2	1	←20℃

2. SMT 包装的分级

多数 IC 制造商的包装都按照其对潮湿诱发损害的敏感性程度进行分级。表 2.9 列举了 SMT 产品包装的典型分级。

表 2.9 SMT 产品包装的典型分级

类 型	一 级	二 级	三 级
PLCC	PN (20/28)		FN (44/68)
SOIC	D (9/14/16)		FN (44/68)
	DW (16/20/24/28)		
SSOP	DBQ (16/20/24)		
	DB (14/16/20/24)		
	DB (28/30/38)		



续表

类 型	一 级	二 级	三 级
TSSOP	DL (28/48/56)	PW (20/24)	DGG (48/56)
	DCT (8)		
	PW (8/14/16)		
	DGG (64)		

注：① 对 SMT 产品的潮湿敏感性分级到目前还没有元器件包装使用第五、六级。

② 表中()= 引脚数。

大多数表面贴装产品使用 EIA/JEDEC A112-A 和 EIA/JEDEC A113-B 规定的程序来测试对潮湿的敏感性。任何指示为二级或以上的包装都要求通过烘焙或在真空中进行除湿，接着进行干燥包装。运输中运输容器应按照产品的潮湿敏感性分级贴上标签。

2.6.3 潮湿敏感性标志

1. 潮湿敏感鉴定（MSID）标志

潮湿敏感鉴定标志如图 2.69 所示。



图 2.69 潮湿敏感鉴定标志

2. 潮湿敏感警告标志

潮湿敏感警告标志如图 2.70 所示。

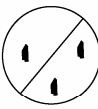

警告	等级
	
袋中装有 潮湿敏感元器件	若空缺，见近旁的条形码标签
<p>1. 封口袋内的车间寿命计算：12个月，在$<40^{\circ}\text{C}$和$<90\%$相对湿度（RH）条件下</p> <p>2. 封装体峰值温度 _____$^{\circ}\text{C}$ 若空缺，见近旁的条形码标签</p> <p>3. 打开封口袋后，需进行回流焊接或其他高温工序的元器件必须满足：</p> <p>a) 在$=30^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$车间环境下 _____ 小时内必须贴装 若空缺，见近旁的条形码标签</p> <p>b) 在$<10\%\text{RH}$环境中存储</p> <p>4. 以下情况元器件要求贴装前烘烤：</p> <p>a) 湿度指示卡在$23\pm 5^{\circ}\text{C}$读数时显示$>10\%\text{RH}$</p> <p>b) 未满足3a或3b</p> <p>5. 元器件如果需要烘烤，可在$125\pm 5^{\circ}\text{C}$烘烤48小时 注意若元器件容器不耐高温，须减短烘烤时间 烘烤工序参考IPC/JEDEC J-STD-033 防潮袋封口日期： _____ 若空缺，见近旁的条形码标签</p> <p>注：等级和体温度依据 IPC/JEDEC J-STD-020确定。</p> <p>注意：潮湿敏感等级和原器件体温度由IPC/JEDEC J-STD-020定义 若空缺见近旁条形码标签</p>	

图 2.70 潮湿敏感警告标志



“潮湿敏感鉴定 (MSID) 标志”应贴在装有 MBB 的最外层运输箱上，通常在条形码标签的附近，如图 2.71 所示。

“潮湿敏感警告标签”应贴在 MBB 的外表上，以指示内包装有 MSD，如图 2.72 所示。

潮湿敏感警告标签通常应用于抽真空的防潮袋外面，该标签应包括对元器件独特的详细信息：如潮湿敏感级别、包装体的峰值温度、场地寿命、开袋之后的暴露时间、何时要求烘焙、烘焙程序以及袋的抽真空日期等。



图 2.71 潮湿敏感鉴定 (MSID) 标志粘贴位置



图 2.72 潮湿敏感警告标签粘贴位置

2.6.4 MSD的入库、储存、配送、组装工艺过程管理

1. 入库验收

1) 真空袋检查

检查警告标签或条形码上的封袋日期；检查包装袋的完整性（有无洞、凿孔、撕破、针孔或任何会暴露内部的开口）；如果发现有开口，应参照湿度指示卡（HIC）显示的状态决定是否拒收（通知供货商采取恢复措施）。

2) MSD 检查和清点

当需要进行 MSD 检查时，应将完好的原包装袋在接近封口处的顶部割开。如果包装袋在车间环境中打开不超过 8 小时，可再与活性干燥剂（活性干燥剂暴露时间不应超过 1 小时，否则不推荐使用）一起重新装入抽真空袋中并封口，或是将元器件放置在一个空气干燥箱里再次干燥，要求再次干燥的时间至少是暴露时间的 5 倍。

仓储人员进行 MSD 数量清点时，应尽量不破坏 MBB。若非进行逐个清点不可时，割开 MBB 后应在最短的时间内清点完，然后再与活性干燥剂一起重新装入 MBB 中并封口。此操作允许暴露的最大时间应小于制造暴露时间（MET）。

2. 储存

1) 库房管理

MSD 存放区应有明显标识；MSD 应分级分类存放，存放柜应有分级标识，如图 2.73 所示。



图 2.73 MSD 存放区存放柜几种分级标签图例

2) 库存寿命

干燥包装的 MSD 库存寿命：在存储条件为温度 $<40^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $<90\%\text{RH}$ 的非冷凝空气环境中，从包装封口日期算起最小为 12 个月。

3) 安全存储

安全存储是指元器件保存在一个湿度可以控制的环境中储存，这样车间寿命可维持在零纪录。在干燥包装完好的 MBB 中的元器件，预期的存储寿命为：由警告或条形码上标示的封袋日期算起为 12 个月。散装 MSD 应放置在空气干燥橱中，橱内的温度和湿度条件应维持在 $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ 和 $<10\%\text{RH}$ 。

4) 定期监视储存状况

湿度指示卡（HIC）会提示干燥包装内湿度的变化情况。当出现误处理（如缺少干燥剂或干燥剂量不足），误操作（如 MMB 撕裂或割裂）或是存储不当时，HIC 会及时做出反应。相应的判断及处理方法以原包装说明及内部指示卡上的要求为准。

3. 配、发料管理

1) 配料

要建立合理的 MSD 生产配送补给系统，确保所有 MSD 都将在规定的时间限制内组装完毕。合适的材料补给可以有效地减小储藏、备料、生产期间的暴露时间。

如果一批元器件中部分已使用，剩下的元器件在打开包装 1 小时内必须重新封口或是放入 $<10\%\text{RH}$ 的干燥箱中。若暴露时间超过 1 小时，应按表 2.10 规定进行处理。



表 2.10 干燥包装要求

等 级	袋装前干燥	MBB	干 燥 剂	MSID *标 签	警 告 标 签
1	可选	可选	可选	不要求	在 220℃ 和 235℃ 分级时要求
2	可选	要求	要求	要求	要求
2a~5a	要求	要求	要求	要求	要求
6	可选	可选	可选	要求	要求

注：*MSID 潮湿敏感度鉴定标签。

2) 发料 - 备料刚好数量

遵循最短暴露时间的原则，应尽可能采用少量发放 MSD 的方法，准备的数量刚好够 8 小时的装配量。

超量发料，势必造成部分 MSD 在规定的时间内未装配完，这必然造成 MSD 必须手工从塑料托盘中移进、移出。这种操作将增加 MSD 的机械或 ESD 损坏的危险性，对产品质量和成本等产生极坏的影响。

4. MSD 组装过程管理

1) 对 MSD 进行工艺跟踪

MSD 要适当地分类、标记和封装在干燥的袋子中待用，一旦袋子打开，每个元器件都必须在一个规定的时间内装配和焊接完。要求对每一卷或每一盘 MSD 的累积暴露时间，都应进行工艺跟踪，直到所有 MSD 都在车间寿命期内完成了全部组装过程。

2) 手工记录时间

为了跟踪暴露时间，要求生产操作员手工记录移入和移出干燥室或干燥袋的日期与时间（可能多次），如图 2.74 所示。其目的就是为了准确地计算干燥储存所需的时间。



图 2.74 手工记录时间图例

3) 根据车间环境情况适时调整 MSD 的车间寿命

MSD 自 MBB 中取出后，如果车间温度/湿度不满足 30℃/60%RH 条件要求时，可以按表 2.8 列出的湿度范围和温度条件要求，适时增减车间寿命作为补偿。

4) 干燥处理

任何 MSD 在车间寿命限定时间之前还有未组装完的，就应通过充分的干燥程序将 MSD 重新恢复到干燥储存状态。MSD 原包装警告标签上给出了用户在自己场所重新烘烤器件的

条件。当原包装警告标签上无具体烘烤操作说明或警告标签丢失时，则可按表 2.11 给出的条件，用户在自己场所重新烘烤器件。

表 2.11 MSD 暴露在湿度 $\leq 60\%RH$ 环境中时用户干燥参考条件
(车间寿命从烘烤后 0 时刻起重新开始计时)

器件封装厚度 (mm)	等 级	烘烤温度 (125℃) (小时)	烘烤温度 (40℃) $\leq 5\%RH$ (天)
≤ 1.4	2a	4	5
	3	7	11
	4	9	13
	5	10	14
	5a	14	19
≤ 2.0	2a	18	21
	3	24	33
	4	31	43
	5	37	52
	5a	48	68
≤ 4.0	2a	48	67
	3	48	67
	4	48	68
	5	48	68
	5a	48	68

工艺过程中对已干燥过的 MSD，在不超过 30℃/60%RH 的车间环境中，若暴露时间大于 8 小时，则应适当地进行室温干燥，最小干燥时间为暴露时间的 5 倍。干燥完毕后重新设置车间寿命的计时。

如果车间寿命或温度/湿度条件超出，在再流焊接或重新进行安全存储前，MSD 必须按照表 2.11 要求进行干燥处理。

对焊接可靠性的影响介绍如下。

(1) 氧化风险。

烘烤 MSD 时可能会引起引脚表面氧化或过量的金属间化合物的生成，从而在板级组装过程中造成焊接可靠性问题。因此，MSD 烘烤温度和时间将受到可靠性要求的制约。除非供应商额外指明，否则元器件烘烤应在一个烘烤周期内一次完成。如果需要超过一个烘烤周期，应咨询供应商。不要将元器件存储在烘焙温度下的炉子中。

(2) 载体除湿风险。

MSD 载体材料在除湿过程中，应确保不超出干燥烘烤的安全范围，以避免可靠性可能受到影响。

5. 退料管理

1) 退料

退料时，已经装载在贴装机器上的 MSD 必须取下来，连同托盘和盘带一道返回库房，供以后继续使用。MSD 所有的标识数据及对应的出库时间跟踪记录，应完整地原来的标签上转移过来并随 MSD 一起保存。退回重新储存的 MSD 散料，必须把暴露的时间也计算



到干燥储存的时间里去，并根据出库时间跟踪记录优先出库。

2) 烘焙

一种较简单的管理办法是：有系统地烘焙所有生产后剩下的装有 MSD 的托盘和卷盘。对此，IPC/JEDEC 标准做如下规定。

(1) 高温载体：对包装在高温载体（如高温托盘）中的 MSD，可在载体中进行 125℃ 烘烤，烘烤时间为 48 小时。

(2) 低温载体：包装在低温载体（如料盒、托盘、带卷）中的 MSD，当烘烤温度高于 40℃ 时，不能在载体内直接烘烤。如果要求在较高的温度中烘烤，元器件应从低温载体中取出，转入对高温安全的载体中烘烤，烘烤完毕后再重新装入低温载体。而对在卷盘和低温托盘上的 MSD 必须以 40℃ 烘焙 68 天。

注意：手工操作会增加机械和 ESD 损伤的危险。

(3) 纸及塑料容器制品：如纸板箱、气泡膜包装、塑料包裹等，烘烤前应把载体外面的这类物品去掉。塑料管上缠绕的橡皮带及塑料托盘上的捆绑带在高温（125℃）烘烤前也必须取下。

(4) 烘烤时间：烘烤时间从所有 MSD 均达到指定温度时开始起算。

(5) ESD 保护：当元器件在低湿度（干燥）环境下烘烤后，用真空吸针手工处理时，应进行适当的 ESD 防护处理。

6. 组装工艺

1) 再流焊接

在再流焊接过程中 MSD 元器件体温度不得超过标注在警告标签上的设定值，否则将直接影响元器件焊接的可靠性。在再流焊接过程中，虽然体温度在再流焊接中是最关键的参数，但其他参数，如高温中总的暴露时间和加热速率，也影响 MSD 焊接的可靠性，因此，均须妥善处理。如果进行了一个以上的多次再流焊接过程，必须小心确保在最后一道再流焊接前的所有 MSD，无论是贴装的还是不贴装的，都不能超过它们的车间寿命。

每个 MSD 最多只能经受住三次再流焊接工序。如果因为某种原因需要超过三次的，应向供应商咨询。若需使用 235℃ 的高温再流焊接等级为 1 级的 MSD 时，在“警告”标志上必须注明再流焊接温度，警告标签应贴在 MBB 上或最外层运输箱上。在 220℃ 温度下再流焊接的 MSD 不需要任何与潮湿相关的标签。

应当注意的是：元器件体温度可能与引脚或焊球间温度差别很大（特别是在 IR 和 IR/热风再流焊接过程中），所以必须分开测量。一些热风焊接工艺可能要求 MSD 元器件体加热温度高过 220℃，如果超过了分类温度，则潮湿预警或时间-温度限制要求可能会超出本规范规定范围，此时应咨询供应商。划分为第 6 级的 MSD 必须在上线生产前烘烤干燥，然后在标签指定的限制时间内完成再流焊接。

2) 返修

在打开 MBB 后，MBB 中所有元器件均应在标注的车间寿命前，完成包括返修在内的所有高温再流焊接过程。



若余下不能焊完的 MSD 应再次封入 MBB 中或存入干燥橱中。若要将器件从 PCB 上取下, 推荐使用局部加热方法, 所有表面贴装器件的最大体温度不要超出 200°C , 以确保与 MSD 相关的元器件的损伤降到最低; 如果元器件温度超过 200°C , 可要求 PCB 在返修前烘烤; 元器件温度应在元器件体的顶部中心测量; 如果取下的器件再次使用, 建议在进行再贴装前将其烘烤干燥。替换的元器件应在规定的车间寿命内替换完毕。

推荐采用局部加热再流焊进行返修替换, 这样整块 PCB 就不必再次经历再流焊接温度的影响。当邻近元器件上的温度高于 183°C 时, 可能会引起某些焊点局部回流, 而导致潜在的焊点可靠性问题。

思考题 2

- (1) 如何理解封装?
- (2) 元器件的三级封装是什么?
- (3) 引脚材料的基本要求是什么?
- (4) 常用电子元器件引脚材料有哪些?
- (5) 什么是可焊性? 可焊性镀层有哪些? 影响引脚镀层可焊性的因素有哪些?
- (6) 常见的可焊性实验方法有哪些?
- (7) 典型的插装元器件有哪些?
- (8) 为什么要对插装元器件极性进行识别?
- (9) 什么是潮湿敏感元器件? “爆米花”现象是什么?

第3章 印制电路板



本章要点



概述



印制电路板制作



现代电子装联过程中常见的 PCB 缺陷



PCB 的可制造性设计



3.1 概 述

3.1.1 基本概念

1. 定义

印刷电路板, 又称印制电路板、印刷线路板, 常使用英文缩写 PCB (Printed Circuit Board) 或写 PWB (Printed Wiring Board), 是重要的电子部件, 是电子元器件的支撑体, 是电子元器件线路连接的提供者。

传统的电路板, 采用印刷蚀刻阻剂的工法, 制作出电路的线路及图面, 因此被称为印刷电路板或印刷线路板。由于电子产品不断微小化跟精细化, 目前大多数的电路板都是采用贴附蚀刻阻剂 (压膜或涂布), 经过曝光显影后, 再以蚀刻制作出电路板。在 GB2036—94 印制电路术语中解释是: “印制电路和印制线路成品板统称印制板。它包括刚性、挠性和刚挠结合的单面、双面和多层印制板等”。

印制电路是指在绝缘基材上, 按预定设计形成印制元器件或印制线路以及两者结合的导电图形; 印制线路是指在绝缘基材上形成的导电图形, 用于元器件之间连接, 但不包括印制元器件。

UL 认证中, 印制线路板称为 PWB (Printed Wiring Board); 印制电路板 PCB (Printed Circuit Board) 是指 “板子+印制元器件=PCB”。日常工作中, 人们常把印制线路板、印制电路板统称为印制板。

几乎每种电子设备, 小到电子手表、计算器, 大到计算机、通信电子设备、军用武器系统, 只要有集成电路等电子元器件, 为了它们之间的电器互连, 都要使用印制板。在较大型的电子产品研究过程中, 最基本的成功因素是该产品的印制板的设计、文件编制和制造。印制板的设计和制造质量直接影响到整个产品的质量和成本, 甚至导致商业竞争的成败。

2. 功能

印制电路在电子设备中提供如下功能:

- 提供集成电路等各种电子元器件固定、装配的机械支撑;
- 实现集成电路等各种电子元器件之间的布线和电器连接或电绝缘;
- 提供所要求的电气特性, 如特性阻抗等;
- 为自动焊提供阻焊图形, 为元器件插装、检查、维修提供识别字符和图形。

3.1.2 发展历程

如图 3.1 所示, 列出了印制电路板发展的关键历程。

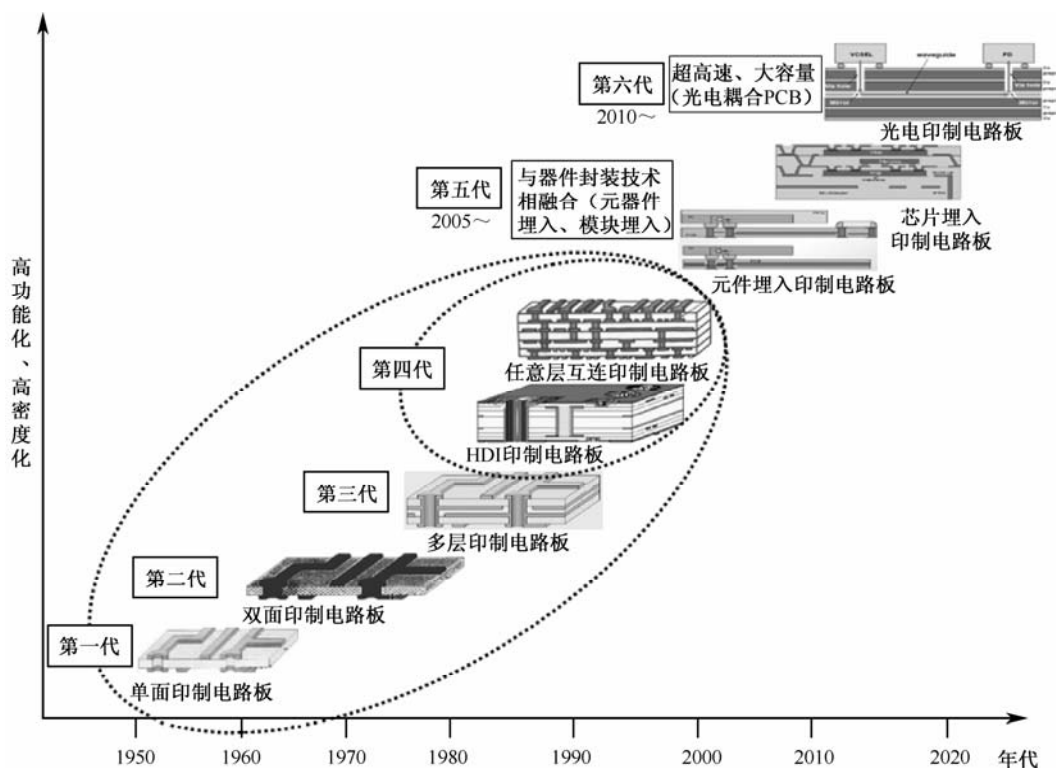


图 3.1 印制电路板发展历程

20 世纪初，人们为了简化电子机器的制作，减少电子零件间的配线，降低制作成本，等等，开始钻研以印刷的方式取代配线的方法。30 年间，不断有工程师提出在绝缘的基板上加以金属导体作配线。其中最成功的是 1925 年，美国的 Charles Ducas 在绝缘的基板上印刷出线路图案，再以电镀的方式，成功建立导体作配线。直至 1936 年，奥地利人保罗·爱斯勒（Paul Eisler）在英国发表了箔膜技术，他在一个收音机装置内采用了印刷电路板；而在日本，宫本喜之助以喷附配线法[メタリコン法吹着配线方法（特许 119384 号）]成功申请专利。两者中 Paul Eisler 的方法与现今的印制电路板最为相似，这类做法称为减去法，是把不需要的金属除去；而 Charles Ducas、宫本喜之助的做法是只加上所需的配线，称为加成法。由于当时的电子零件发热量大，两者的基板难以配合使用，以致未有正式的实用案例，不过也使印刷电路技术更进一步。

1941 年，美国在滑石上漆上铜膏作配线，以制作接线管。

1943 年，美国人将该技术大量使用于军用收音机内。

1947 年，环氧树脂开始用作制造基板。同时 NBS 开始研究以印刷电路技术制成线圈、电容器、电阻器等制造技术。

1948 年，美国正式认可 1947 年的这个发明用于商业用途。自 20 世纪 50 年代起，发热量较低的晶体管大量取代了真空管的地位，印刷电路板技术才开始被广泛采用，而当时以蚀刻箔膜技术为主流。

1950 年，日本使用玻璃基板上以银漆作配线；和以酚醛树脂制成的纸质酚醛基板（CCL）上以铜箔作配线。



1951 年, 聚酰亚胺的出现, 使树脂的耐热性进一步提高, 也制造了聚亚酰胺基板。

1953 年, Motorola 开发出电镀贯穿孔法的双面板。这种方法也应用到后期的多层电路板上。印制电路板广泛被使用 10 年后的 20 世纪 60 年代, 其技术日益成熟。而自从 Motorola 的双面板面世, 多层印制电路板开始出现, 使配线与基板面积之比更为提高。

1960 年, V. Dahlgreen 以印有电路的金属箔膜贴在热可塑性的塑胶中, 制造出软性印制电路板。

1961 年, 美国的 Hazeltine Corporation 参考了电镀贯穿孔法, 制作出多层板。

1967 年, 发表了积层法之一的“Plated-up technology”。

1969 年, FD-R 以聚酰亚胺制造了软性印制电路板。

1979 年, Pactel 发表了积层法之一的“Pactel 法”。

1984 年, NTT 开发了薄膜回路的“Copper Polyimide 法”。

1988 年, 西门子公司开发了 Microwiring Substrate 的积层印制电路板。

1990 年, IBM 开发了“表面积层线路”(Surface Laminar Circuit, SLC)的积层印制电路板。

1995 年, 松下电器开发了 ALIVH 的积层印制电路板。

1996 年, 东芝开发了 Bit 的积层印制电路板。在众多的积层印制电路板方案被提出的 1990 年代末期, 积层印制电路板也正式大量地被实用化, 直至今日。

随着制作工艺的进步, 印制电路板朝着更高精度和更高密度的方向发展, 印制电路板更加复杂起来, 基于多层板框架多样化的形式(比如混压、埋/嵌式、多结构等)不断出现。

若以 PCB 装联技术的应用和发展角度来看, 可分为三个阶段: 通孔插装技术阶段 PCB、表面安装技术阶段 PCB、芯片级封装阶段 PCB。

1. 通孔插装技术(THT)阶段 PCB

1) 金属化孔的作用

(1) 电器互连: 信号传输。

(2) 支撑元器件: 引脚尺寸限制通孔尺寸的缩小。

① 引脚的刚性。

② 自动化插装的要求。

2) 提高密度的途径

(1) 减小元器件孔的尺寸, 但受到元器件引脚的刚性及插装精度的限制, 孔径 $\geq 0.8\text{ mm}$ 。

(2) 缩小线宽/间距: $0.3\text{ mm} \rightarrow 0.2\text{ mm} \rightarrow 0.15\text{ mm} \rightarrow 0.1\text{ mm}$ 。

(3) 增加层数: 单面 \rightarrow 双面 \rightarrow 4 层 \rightarrow 6 层 \rightarrow 8 层 \rightarrow 10 层 \rightarrow 12 层 \rightarrow 64 层。

2. 表面安装技术(SMT)阶段 PCB

1) 导通孔的作用

仅起到电器互连的作用, 孔径可以尽可能得小, 堵上孔也可以。



2) 提高密度的主要途径

(1) 过孔尺寸急剧减小: $0.8\text{ mm} \rightarrow 0.5\text{ mm} \rightarrow 0.4\text{ mm} \rightarrow 0.3\text{ mm} \rightarrow 0.25\text{ mm}$ 。

(2) 过孔的结构发生本质变化:

① 埋盲孔结构优点是提高了布线密度 $1/3$ 以上、减小 PCB 尺寸或减少层数、提高可靠性、改善了特性阻抗控制,减小了串扰、噪声或失真(因线短,孔小)。

② 盘内孔(Hole in Pad)消除了中继孔及连线。

(3) 薄型化:(双面板) $1.6\text{ mm} \rightarrow 1.0\text{ mm} \rightarrow 0.8\text{ mm} \rightarrow 0.5\text{ mm}$ 。

(4) PCB 平整度。

① 概念: PCB 基板翘曲度和 PCB 面上连接盘表面的共面性。

② PCB 翘曲度是由于热、机械引起残留应力的综合结果。

③ 连接盘的表面涂层: HASL、化学镀 Ni/Au、电镀 Ni/AU、OSP 等。

3. 芯片级封装(CSP)阶段 PCB

CSP 已开始进入急剧的变革发展之中,推动了 PCB 技术不断向前发展,PCB 工业将走向激光时代和纳米时代。

3.1.3 印制板的分类

1. 按结构来分

按结构可分为刚性印制板(Rigid PCB)、挠性印制板(Flex PCB)、刚-挠印制板(R-F PCB)、齐平印制板(Flat Printed Board)。

2. 按用途来分

按用途可分为民用印制板、工业用印制板和军用印制板。

3. 按基材来分

按基材可分为纸基印制板、环氧玻纤布印制板、复合基材印制板和特种基材印制板。

4. 按电路层数来分

按电路层数可分为单面板、双面板和多层板。常见的多层板一般为 4 层板或 6 层板,复杂的多层板可达十几层。

(1) 单面板(Single-Sided Boards): 在最基本的 PCB 上,零件集中在其中一面,导线则集中在另一面上。因为导线只出现在其中一面,所以这种 PCB 叫作单面板(Single-Sided)。因为单面板在设计线路上有许多严格的限制(因为只有一面,布线间不能交叉而必须绕独自的路径),所以只有早期的电路才使用这类的板子。

(2) 双面板(Double-Sided Boards): 这种电路板的两面都有布线,不过要用上两面的导线,必须要在两面间有适当的电路连接才行。这种电路间的“桥梁”叫作过孔(Via)。因为

双面板的面积比单面板大了一倍，而且因为布线可以互相交错（可以绕到另一面），它更适合用在比单面板更复杂的电路上。

（3）多层板（Multi-Layer Boards）：为了增加可以布线的面积，多层板用上了更多单或双面的布线板。用一块双面作内层、两块单面作外层或两块双面作内层、两块单面作外层的印刷线路板，通过定位系统及绝缘黏结材料交替在一起且导电图形按设计要求进行互连的印刷线路板就成为四层、六层印刷电路板，也称为多层印刷线路板。板子的层数就代表了有几层独立的布线层，通常层数都是偶数，并且包含最外侧的两层。

3.2 印制电路板制作

3.2.1 PCB构成

如图 3.2 所示，PCB 可以粗略划分为电子级玻纱纤、电子级玻砂布、铜箔、环氧树脂、覆铜板、阻焊油墨、表面处理涂层等几个部分。

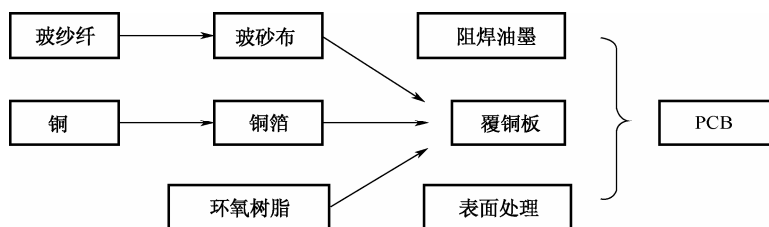


图 3.2 PCB 构成框图

1. 基材

基材，可在上面形成导电图形的绝缘材料。基材可以是刚性或挠性的，或者兼是，它可以是电介质或者是绝缘的金属板。

2. 覆铜板

覆铜板（Copper Clad Laminate, CCL），全称覆铜板层压板，是由木浆纸或玻纤布等作增强材料，浸以树脂，单面或双面覆以铜箔，经热压而成的一种产品，是 PCB 主要原材料，如图 3.3 所示。

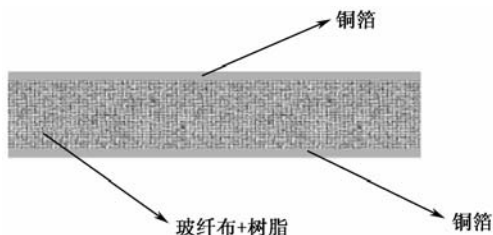


图 3.3 覆铜板结构



1) 金属化导通孔

如图 3.4 所示, 金属化导通孔是孔壁镀覆有金属的孔, 其可实现印制板内层、外层或内外层上导电图形之间的电器连接。

2) 线路(导电)图形

线路图形, 导电材料在基材上的布局或设计。其中包括作为印制电路板制造过程的一个整体部分的导体、连接盘、导通孔、散热区和无源元器件, 如图 3.5 所示。

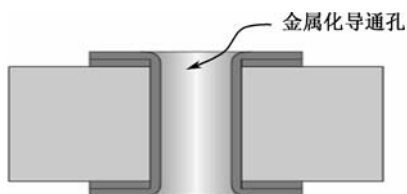


图 3.4 金属化导通孔

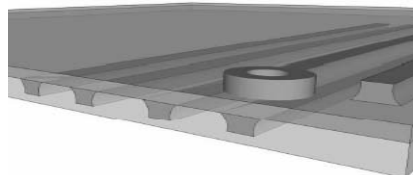


图 3.5 线路图形

3.2.2 PCB加工

以普通多层刚性印制板为例, 其加工流程如图 3.6 所示。

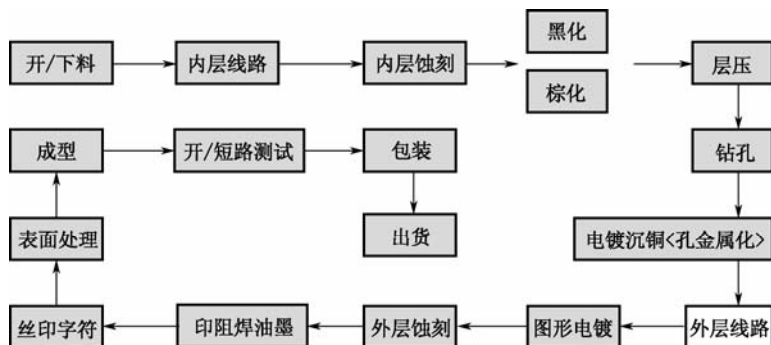


图 3.6 普通多层刚性印制板加工流程

1. 下料

如图 3.7 所示, 依工程设计要求, 选用制定芯板(半固化片、铜箔)按照 PCB 生产工艺指定的长宽尺寸进行切割, 将基板材料裁切成工作所需要尺寸供下道工序加工。

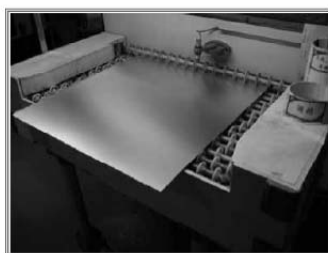


图 3.7 下料

2. 内层线路/图形

目的：利用影像转移原理制作内层线路。

流程：如图 3.8 所示，给出了内层线路加工的流程。



图 3.8 内层线路加工的流程

1) 前处理

利用刷轮去除铜面上的污染物，增加铜面粗糙度，以利于后续的贴膜操作，如图 3.9 所示。

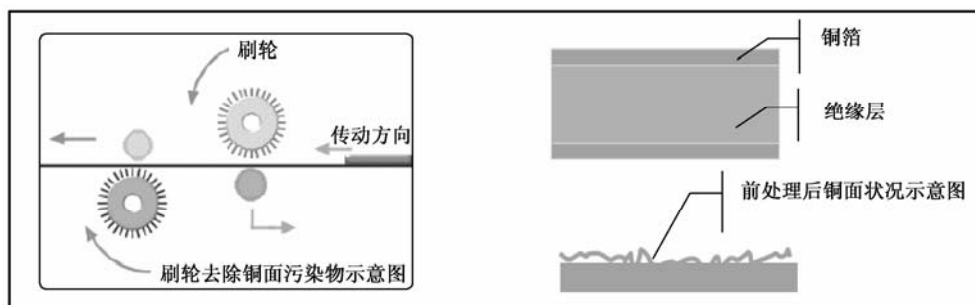


图 3.9 刷轮去除铜面上的污染物

2) 贴膜

将经处理之基板铜面透过热压方式贴上抗蚀刻干膜，原物料为干膜。

3) 曝光

经光源作用将原始底片上的图像转移到感光底板上，主要原物料为底片，曝光时透光部分发生光聚合反应，不透光的部分不发生反应，如图 3.10 所示。

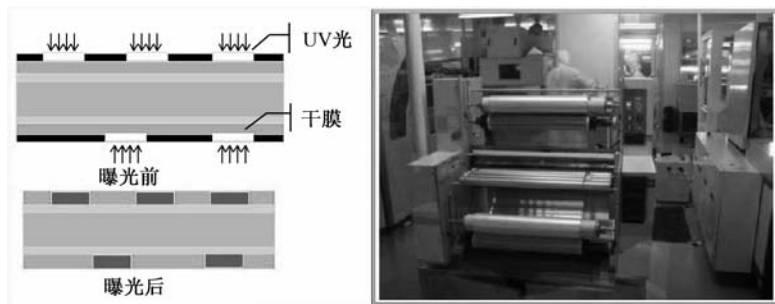


图 3.10 曝光

4) 显影

用化学药水作用将未发生化学反应的干膜部分冲掉，而发生化学反应的干膜则保留在板



面上作为蚀刻时的抗蚀保护层，如图 3.11 所示。

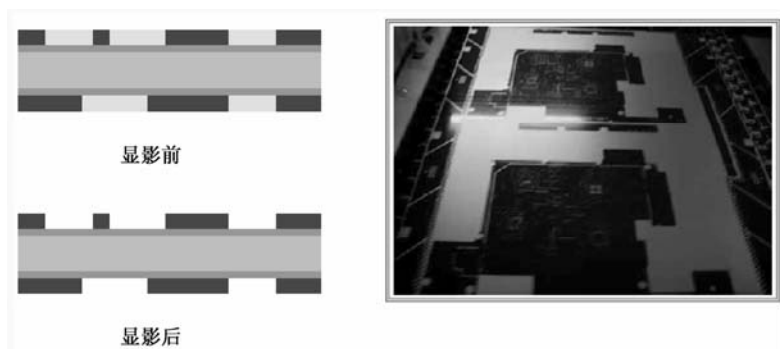


图 3.11 显影

3. 内层蚀刻

利用药液将显影后露出的铜蚀掉，然后利用化学药水将保护铜面之抗蚀干膜层剥离，露出铜层，形成内层线路图形，主要原材料为蚀刻药液，如图 3.12 所示。

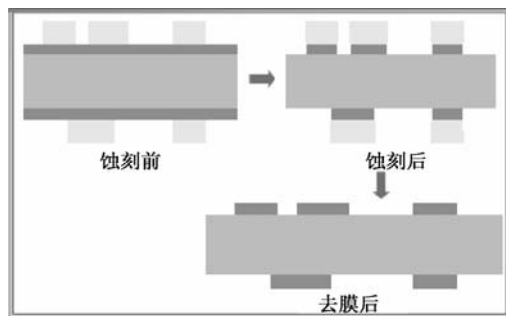


图 3.12 内层蚀刻

内层检验：通过内层检验，对内层生产板进行检查，挑出异常板并进行处理，收集品质信息并及时反馈处理，避免重大异常发生。

自动光学检测（Automatic Optical Inspection, AOI）：原理为通过光学反射原理将图像回馈至设备处理，与设定的逻辑原则或资料图形相比较，找出缺陷位置。

4. 棕化

粗化铜面，增加与树脂接触表面积，增强内层铜与半固化片的结合力，主要原材料为棕化药水。

工艺流程如图 3.13 所示。



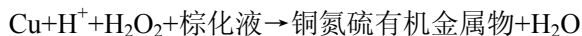
图 3.13 棕化流程

工艺原理如下所述。

(1) 黑化:



(2) 棕化:



(3) 控制重点(过程控制): 通过控制反应时间、温度、药水浓度来控制黑化、棕化的厚度, 如图 3.14 所示, 给出了棕化前后对比情况。

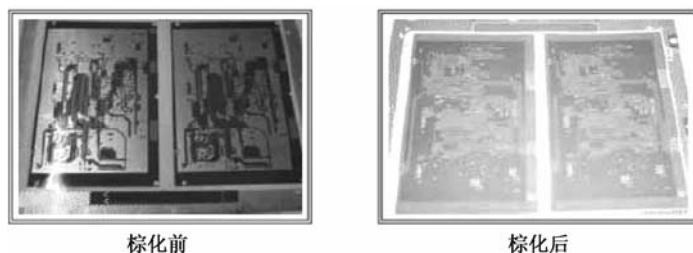


图 3.14 棕化前后对比

5. 层压配板

(1) 配板: 把邦定/铆合后的内层按制作要求, 配置外层半固化片。

(2) 定位方式: 对需要进行层压的内层板进行预定位, 定位方法有绑定、铆钉、销钉、绑定+铆钉等。

(3) 叠板: 把配好的板按要求铺上外层铜箔后放入垫有牛皮纸的托盘中并用打磨干净的隔离钢板层层隔离。

(4) 压合: 通过热压方式将叠合板压成多层板, 在适当的升温速率与压力作用下使半固化片树脂充分流动, 填充芯板图形的同时把芯板黏结在一起。

(5) 主要辅料: 牛皮纸、钢板。

如图 3.15 所示, 给出了层压的叠合顺序。

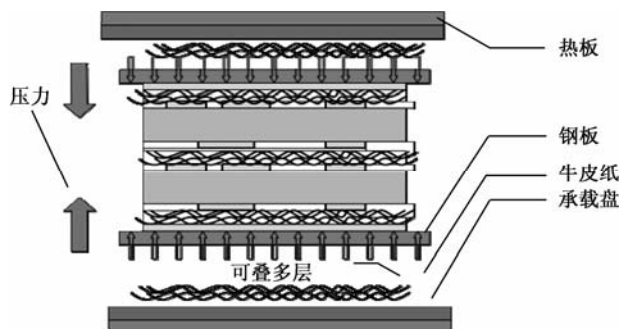


图 3.15 层压结构图

6. 钻孔

如图 3.16 所示, 钻孔是利用数控钻床选择不同规格的钻头对表面平整的 PCB 进行加工



以得到制作要求的孔径，在板面上钻出层与层之间线路连接的导通孔。

(1) 主要辅料：钻头、盖板、垫板。

(2) 钻头：碳化钨、钴及有机黏合剂组合而成。

(3) 盖板：主要为铝片，在制程中起钻头定位、散热、减少毛头、防压伤作用。

(4) 垫板：主要为复合板，在制程中起保护钻机台面、防出口批量性毛头、降低钻针温度及清洁钻针沟槽胶渣的作用。

7. 沉铜

通过化学反应，在已经钻完孔的孔壁上沉积上一层铜，实现孔金属化，如图 3.17 所示。

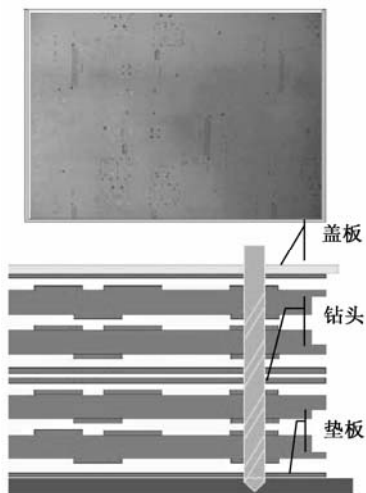


图 3.16 钻孔



图 3.17 沉铜

沉铜工艺流程如图 3.18 所示。

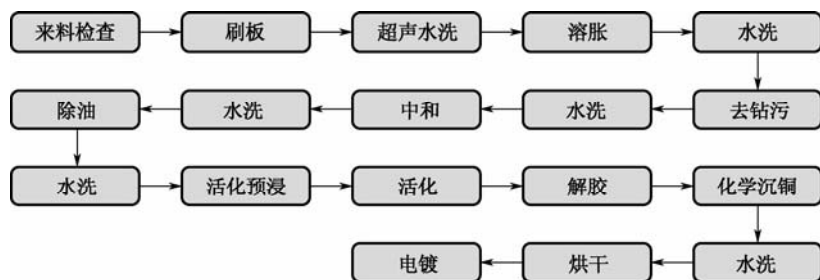
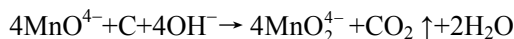
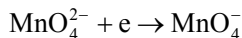


图 3.18 沉铜工艺流程

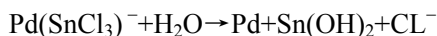
(1) 去钻污主要反应原理如下：



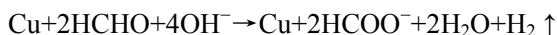
(2) 高锰酸钾的再生：



(3) 活化中心形成：



(4) 沉铜:



在沉铜过程中, 应主要控制好去钻污厚度、微蚀厚度、沉铜厚度、背光等级等参数; 在质量方面, 需要关注灯芯效应、树脂收缩、层间结合力等主要指标; 通常沉铜的主要缺陷有孔内空洞、层间分离、孔内铜瘤等。

8. 电镀

在化学沉铜的基础上进行电镀铜, 实现层与层之间的导通, 如图 3.19 所示。

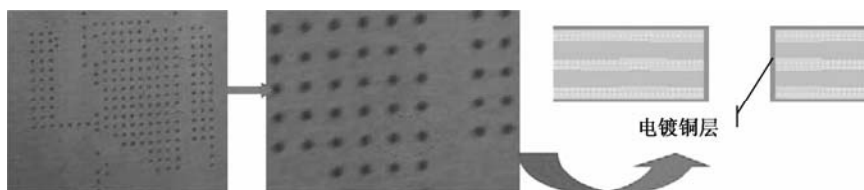


图 3.19 化学沉铜及电镀铜层示意图

化学沉铜工艺流程如图 3.20 所示。

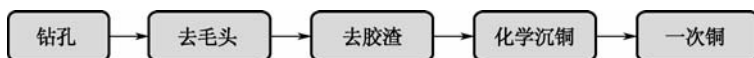


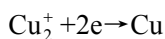
图 3.20 化学沉铜工艺流程

主要反应原理如下所述:

(1) 铜阳极的电解:



(2) 零件板的电镀:



如图 3.21 所示, 给出了电镀实际运作场景图。在电镀过程中, 要控制好通过药水作用控制的电镀时间、电流密度、电镀面积, 以获取具有一定延展性能的电镀铜; 并关注孔壁铜厚、表面铜厚、铜层延展性等质量指标; 通常电镀缺陷有镀层不均、板面粗糙、电镀凹坑、孔壁断裂等, 需要特别关注。



图 3.21 电镀



9. 外层图形

经过钻孔机通孔电镀后，内外层已经连通，利用影像转移原理制作外层线路，以达到电性的完整，其流程如图 3.22 所示。



图 3.22 外层图形工艺流程

1) 前处理

利用刷轮去除铜面上的污染物，增加铜面粗糙度，以利于后续的贴膜操作。

2) 贴膜

将经处理的基板铜面透过热压方式，贴上抗蚀干膜，主要原物料为干膜。

3) 曝光

如图 3.23 所示，经光源作用将原始底片上的图像转移到感光底版上，最终形成设计的导电图形。

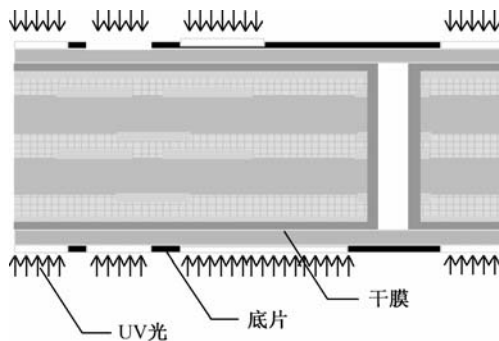


图 3.23 外层曝光示意图

4) 显影

如图 3.24 所示，显影是把尚未发生聚合反应的区域用显像液冲洗掉，已感光部分因已发生聚合反应洗不掉而留在铜面上成为蚀刻或电镀的保护层。

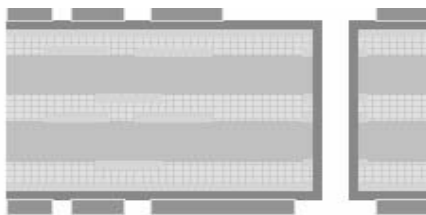


图 3.24 外层显影示意图



10. 外层蚀刻

如图 3.25 所示，给出了通过腐蚀反应获取设计所需的板面图形。

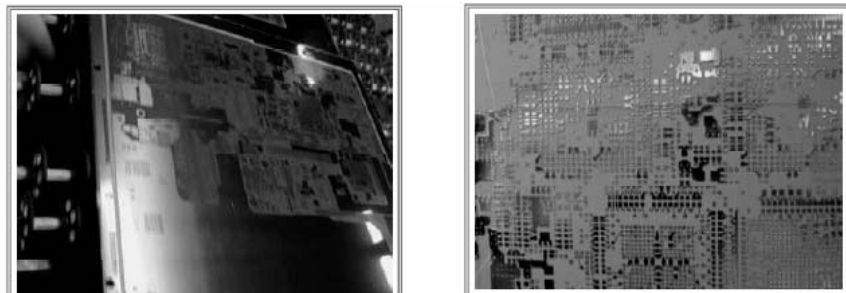


图 3.25 外层蚀刻

蚀刻分酸性蚀刻和碱性蚀刻，其工艺流程如图 3.26 所示。

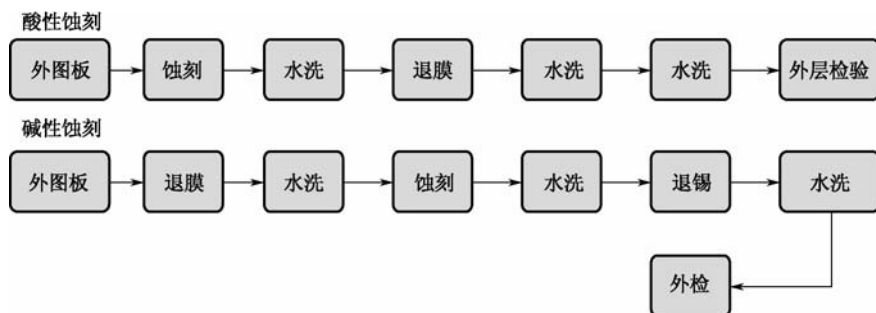


图 3.26 蚀刻工艺流程

其中，重要流程介绍如下。

1) 退膜

- (1) 目的：将抗电镀用途的干膜用药水剥除。
- (2) 主要原物料：剥膜液（KOH）。

2) 蚀刻

- (1) 目的：将非导体部分的铜蚀刻掉。
- (2) 主要原物料：蚀刻液（氨水）。

3) 退锡

- (1) 目的：将导体部分起保护作用的锡剥除。
- (2) 主要原物： $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ 两液型剥锡液。

11. 印阻焊油墨

(1) 目的：

- 防焊——防止焊接时锡料短路。



- 保护——防止线路被湿气及外界环境影响。
- 绝缘——板子越来越小，线路间距越来越窄，油墨可达到一定的绝缘作用。

(2) 工艺流程：如图 3.27 所示。

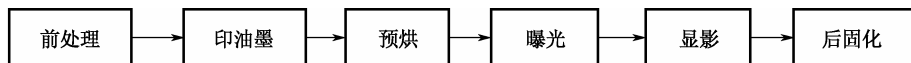


图 3.27 印阻焊油墨工艺流程

- 前处理：去除表面氧化物，增加板面粗糙度，加强板面油墨附着力，主要设备是磨板机。
- 印油墨：利用丝网上图案，将油墨准确地印刷在板子上，主要原料是油墨。常用的印刷方式有印刷型（Screen Printing）、淋幕型（Curtain Coating）、喷涂型（Spray Coating）、滚涂型（Roller Coating）等。
- 预烘：去除油墨内的溶剂，使油墨部分硬化。
- 曝光：影像转移，主要设备是曝光机。

12. 丝印字符

在板面上印上器件及导线的标记，便于后道工序识别和维修。

13. 表面处理

PCB 表面处理的目的是保证良好的可焊性或电性能，防止表面铜的氧化，因此需要对表面铜进行处理。

通常表面涂覆类型有 OSP、ENIG、Im-Ag、HASL、Im-Sn 等。

1) OSP 的反应原理及保护机理

有机可焊性保护层（OSP）是一种有机涂层，用来防止铜在焊接以前氧化，目前广泛使用的两种 OSP 都属于含氮有机化合物，即连三氮茛和咪唑有机结晶碱，它们都能够很好地附着在裸铜表面，在铜表面形成一层分子薄膜而且都很专一，只附着于铜，而不会吸附在绝缘涂层上，如阻焊膜等。

(1) 工艺流程：脱脂→微蚀→酸洗→纯水清洗→有机涂覆（OSP）→清洗。

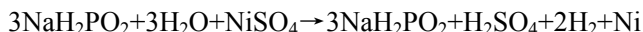
(2) OSP 原理：咪唑 π 电子与二价铜离子配位形成稳定 18 价电子结构在铜表面形成一层分子薄膜。

2) ENIG（化学镍金）的反应原理及保护机理

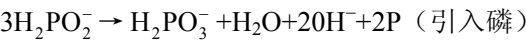
通过化学方法在铜表面镀上 Ni/Au，内层 Ni 沉积，外层 Au 沉积，Ni 在焊锡和铜之间形成阻隔层，焊接时，外面的 Au 会迅速溶解在焊锡里面，焊锡与 Ni 形成 Ni/Sn 金属间化合物。外面镀金是为了防止在存储期间 Ni 氧化或者钝化。

(1) 工艺流程：酸性清洁→微蚀→预浸→活化→化学镀镍→化学浸金→清洗。

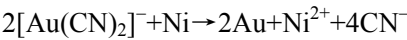
(2) 化镍原理：



子反应：



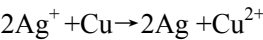
化金原理：



3）Im-Ag（化学银）的反应原理及保护机理

浸银过程是一个在铜表面银替换铜的置换反映过程。银沉积层同时含有有机添加剂和有机表面活性剂，有机添加剂用来确保浸银平整，而有机表面活性剂则可以保护 PCB 在储藏过程中银吸收潮气，在焊接过程中银会溶解到熔化的锡膏里，焊接表面形成 Cu/Sn 金属间化合物。

- （1）工艺流程：清洗→微蚀→预浸→化银→清洗。
- （2）化银原理：



4）HASL（热风整平）的反应原理及保护机理

热风整平又名热风焊料整平，它是在 PCB 表面涂覆熔融锡铅焊料并用加热压缩空气整（吹）平的工艺，使其形成一层既抗铜氧化，又可提供良好的可焊性的涂覆层。热风整平时焊料和铜在结合处形成铜锡金属间化合物。

- （1）工艺流程：微蚀→预热→涂覆助焊剂→喷锡→清洗。
- （2）喷锡原理：PCB 表面涂覆熔融锡铅焊料并用加热压缩空气整（吹）平。

5）Im-Sn（化学锡）的反应原理及保护机理

利用 Sn^{2+} 置换 Cu，以 Sn 原子沉积在铜面上，形成平坦的铜锡金属间化合物，铜锡金属间化合物能够稳固地结合在一起。

- （1）工艺流程：上板→酸性除油→三级水洗→微蚀→二级水洗→预浸→化锡→三级水洗→水平烘干。
- （2）化锡原理：

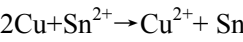
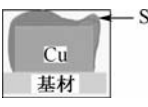
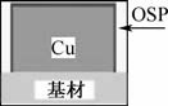
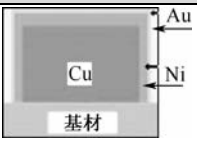

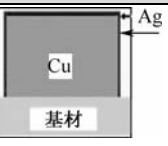



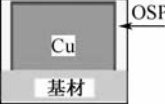



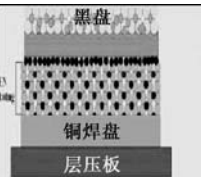
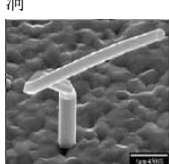
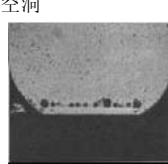

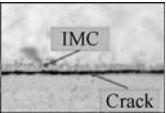
表 3.1 给出了几种 PCB 表面处理涂覆层的特点对比。

表 3.1 几种 PCB 表面处理对比

表面 处理 评估 项目	无铅 HASL	有机保护模 OSP	化学金 ENIG	化学锡 Im-Sn	化学银 Im-Ag
					
工艺 可控性	一般	简单	难	简单	简单
环保性	一般	好	含氰废水	含硫脲废水	一般
焊盘平 整度	差	好	好	好	好
焊接次数	4	3	4	5	5



续表

表面 处理 评估 项目	无铅 HASL	有机保护模 OSP	化学金 ENIG	化学锡 Im-Sn	化学银 Im-Ag
					
润湿性	高	中	中	高	高
镀层厚 (μm)	1~25	0.15~0.5	Au 0.05~0.15	0.8~1.2	0.1~0.5
厚度 可控性	低	低	高	中	中
IMC 影响	中	低	高	中	低
装联 可靠性	精细引脚间焊料的桥接短路	焊点界面空洞, 无 IMC 隔离, SnCu 增长快, 影响焊点可靠性	黑 PAD 金脆, 电化学腐蚀 	锡须, 焊点界面空洞 	银迁移, 焊点界面空洞 
加工成本	中等	低	高	中等	中等
存储期	6 个月	3 个月	6 个月	3 个月	3 个月
主要问题	细密间距焊盘不平整, 可能造成桥接短路, 高纵横比板孔内喷锡控制困难, 目前应用较少	电接触性差, SMT 后模脱落, 铜面氧化, 波峰焊困难 	工艺不稳定, 易出现批量质量问题 	锡须会引起短路, 降低设备长期可靠性, 寿命短	成熟性在评估, 易发黄变黑, 对包装、持拿要求高, 不能返工

14. 外形

利用数控铣床机械切割, 让板子裁切成设计外形。

15. 测试、成品检验和包装

测试通常用电测的方法判定加工的 PCB 满足设计电气通路要求。测试设备有专用测试机、通用测试机、飞针测试等。测试项目有绝缘阻抗、导通电阻和测试耐压等。

检验是制程中进行的最后的品质查核, 检验的主要项目有尺寸检查、外观检查及可靠性检查等。

1) 尺寸的检查项目

- 外形尺寸;
- 各尺寸与板边;
- 板厚;
- 孔径;
- 线宽;



- 孔环大小；
- 板弯翘；
- 各镀层厚度。

2) 外观检查项目

- 孔破；
- 孔塞；
- 露铜；
- 异物；
- 多孔/少孔；
- 金手指缺点；
- 文字缺点。

3) 可靠性

- 焊锡性；
- 线路抗撕拉强度；
- 切片；
- S/M 附着力；
- Gold 附着力；
- 热冲击；
- 阻抗；
- 离子污染度。

3.3 现代电子装联过程中常见的PCB缺陷

3.3.1 装联中的几种常见缺陷

1. 白斑

受热应力作用，出现在底层基材内部的，在织物交织处玻璃纤维与树脂分离，具体表现为在基材表面下出现分散的白色斑点或“十字纹”等现象，统称为白斑，如图 3.28 所示。

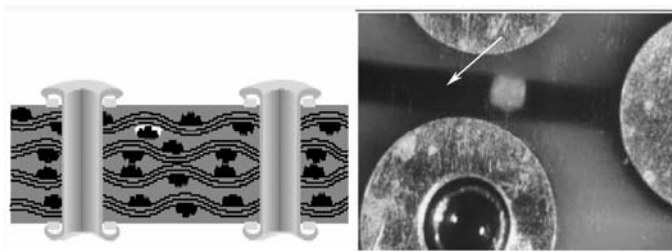


图 3.28 白斑



2. 微裂纹

因受机械应力影响，发生在层压基材内部的，连续的白斑或“十字纹”，即可定义为微裂纹，如图 3.29 所示。

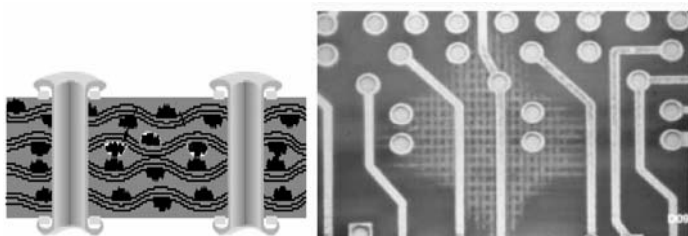


图 3.29 微裂纹

3. 起泡

基材的层间或基材与导电箔之间、基材与保护性涂层之间出现局部膨胀而引起的局部分离现象，如图 3.30 所示。

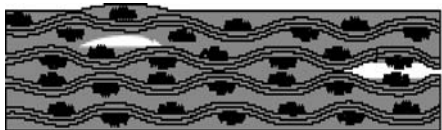


图 3.30 起泡

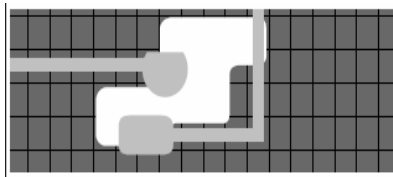


图 3.31 分层

5. 显织布

基材中完全被树脂覆盖且未断裂的编织物纤维，在表面呈现编织花纹，如图 3.32 所示。



图 3.32 显织布

6. 露织物

基材表面露出的未被树脂完全覆盖或未断裂的编织物纤维的现象，如图 3.33 所示。



图 3.33 露织物

7. 晕圈

由于机械加工而引起的在基材表面上或表面下的破坏或分层现象,通常表现为在孔的周围或其他加工部位的四周呈现泛白区域,如图 3.34 所示。

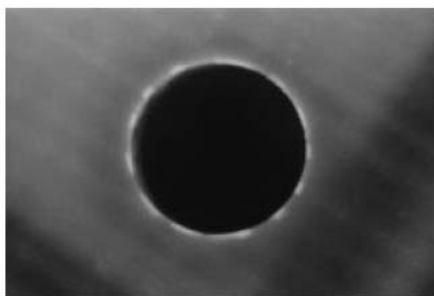


图 3.34 晕圈

8. 阻焊缺陷

阻焊膜是一种耐热涂覆材料,用于防止 PCB 在焊接过程中焊料在非焊接区上沉积。

3.3.2 检查工具和方法

1. 工具

放大镜: 1.75~4X (仲裁用)。

2. 检查方法

- (1) 肉眼直视,有争议时可采用 1.75~4X 的放大镜。
- (2) 检查含有荧光物质的涂层可以在暗淡的采光条件进行,强光可作为检查涂覆层的辅助手段。

3.3.3 常见缺陷的判定

1. 白斑和微裂纹: 可接受

对于白斑和微裂纹可接受的唯一判断标准,是看它组装后功能是否正常,是否能通过功能试验和基板绝缘电阻测量来确定。



2. 起泡和分层

1) 可接受

没有起泡或分层现象，如图 3.35 所示。

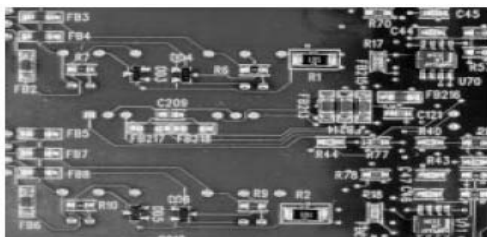


图 3.35 无起泡或分层

2) 拒收

在镀覆孔间或导线间有起泡或分层的任何痕迹，如图 3.36 所示。发生起泡和分层的区域使镀覆孔间或板面下的导线间连通起来，如图 3.36 所示。

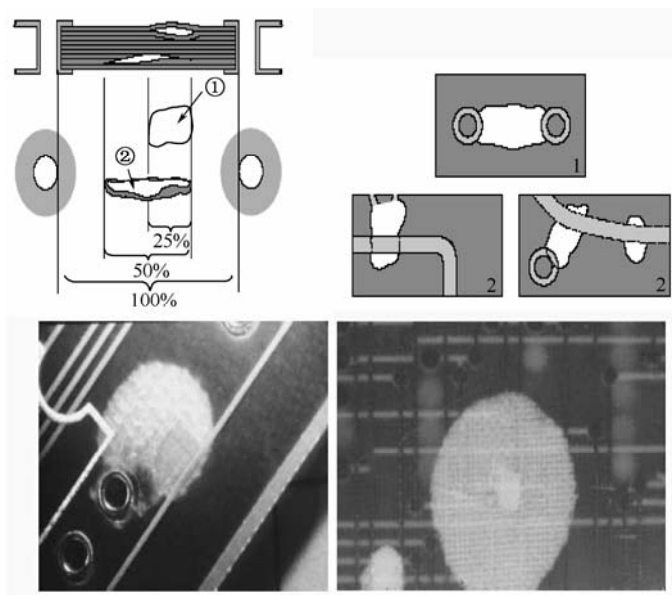


图 3.36 起泡和分层

3. 显布纹和露织

1) 可接受

无显布纹现象，如图 3.37 所示。

没有露织物，或露织物和导电图形距离的减少不低于规定的最小电气间隙。

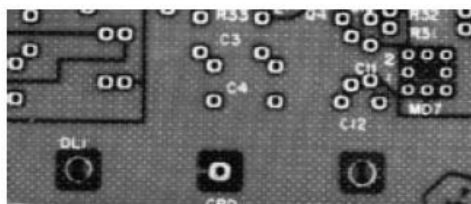


图 3.37 无显布纹现象

2) 拒收

露织物和导电图形距离的减小低于规定的最小电气间隙, 如图 3.38 所示。

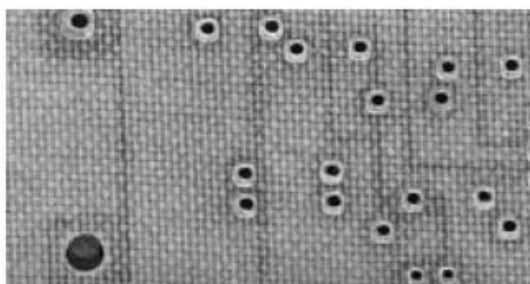


图 3.38 露织物和导电图形

4. 晕圈和板边分层

1) 可接受

无晕圈或板边分层, 如图 3.39 所示。晕圈或边缘分层产生的泛白区域未使边距大于规定边距的 50%或者大于 2.5mm, 如图 3.40 所示。

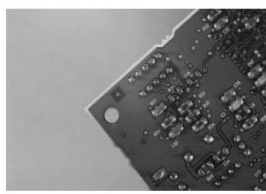


图 3.39 无晕圈或板边分层

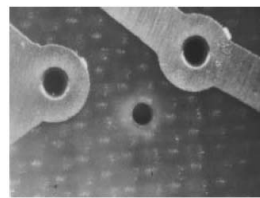


图 3.40 泛白区域未使边距大于规定边距的 50%或者大于 2.5mm

2) 拒收

晕圈或边缘分层产生的泛白区域使边距的减小大于规定边距的 50%或者大于 2.5mm, 如图 3.41 所示。

5. 粉红圈

粉红圈一般不影响功能, 可以接受。粉红圈过多表示工艺过程控制或设计存在变异, 因



此关注的焦点是层压板的压合质量，如图 3.42 所示。

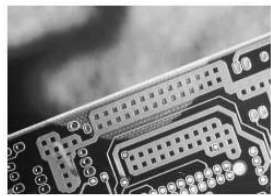


图 3.41 晕圈拒收



图 3.42 粉红圈可接受

6. 阻焊膜

1) 可接受

不能有起泡或发生影响组装件工作和密封性的断裂现象，对焊盘、元器件或导体表面保护良好。

(1) 轻微的变色，如图 3.43 所示。

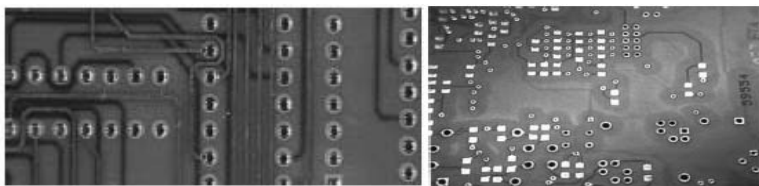


图 3.43 轻微的变色

(2) 出现轻度的皱褶区域，没有造成导电图形间的桥连，并能符合 IPC-TM650: 2.4.28.1 胶带拉离试验方法的要求，如图 3.44 所示。

(3) 阻焊膜表面均匀一致，绝缘区域的阻焊膜没有剥落或起皮现象，如图 3.45 所示。

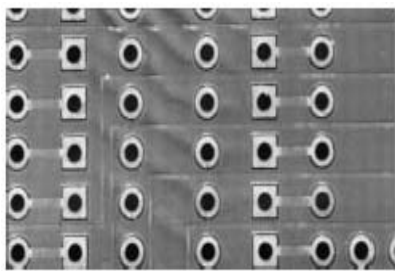


图 3.44 轻度的皱褶区域

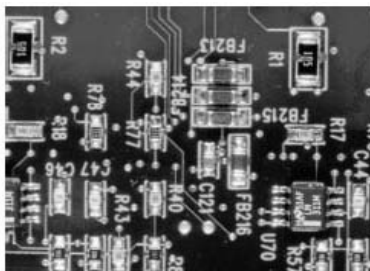


图 3.45 阻焊膜表面均匀一致

(4) 阻焊膜起泡、划痕或空洞，没有造成相邻导线和导线表面的桥接。阻焊膜局部脱落的部位，也未形成具有潜在危害的情况，如图 3.46 所示。

(5) 阻焊膜在再流焊后，只要膜层不出现开裂、翘起或破损，皱褶现象是可以接受的，如图 3.47 所示。

2) 拒收

(1) 阻焊膜的起泡、刮痕和空洞形成了相邻电路间的桥接。

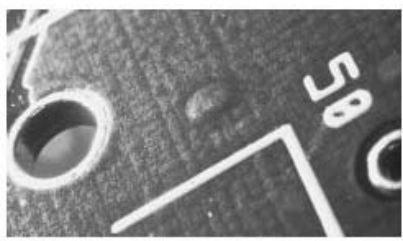


图 3.46 阻焊膜起泡、划痕或空洞

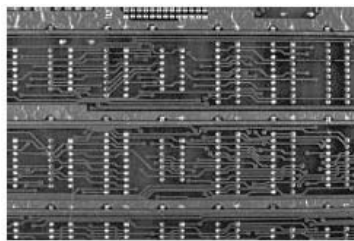


图 3.47 阻焊膜在再流焊后可接受

(2) 阻焊膜起泡、开裂，如图 3.48 所示。

(3) 板面上松散的颗粒物没有清除干净，影响组装操作的进行，如图 3.49 所示。

(4) PCB 在经过胶带试验测试后，阻焊膜中的起泡、刮痕和空洞，造成阻焊膜剥落现象，如图 3.50 所示。

(5) 阻焊膜的局部剥落影响到组件的外观和功能。

(6) 起泡、刮伤、空洞使电路导体间桥连，如图 3.51 所示。

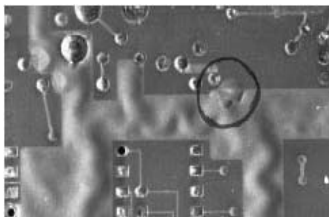


图 3.48 阻焊膜起泡、开裂

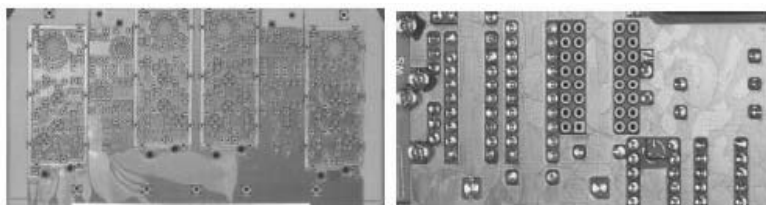


图 3.49 松散的颗粒物没有清除干净

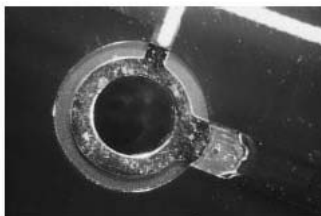


图 3.50 阻焊膜剥落

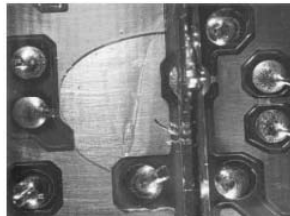


图 3.51 体间桥连

7. 烧焦

1) 可接受

轻微损伤未造成表面或组件的物理损伤。



2) 拒收

烧焦造成表面或组件的物理损伤，如图 3.52 所示。

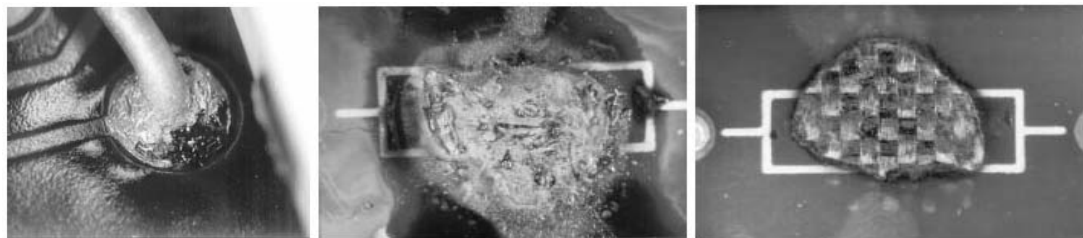
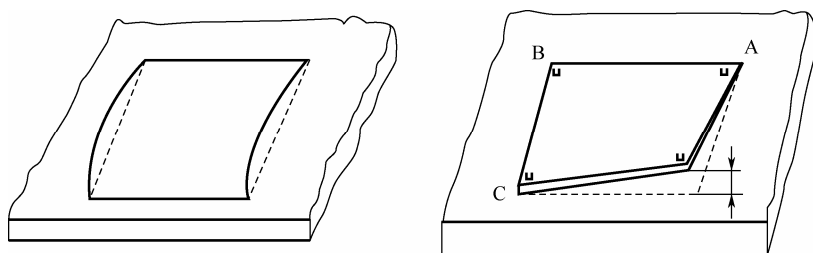


图 3.52 物理损伤

8. 弓曲和扭曲

1) 可接受

焊接之后，通孔插装允许的弓曲和扭曲程度应 $\leq 1.5\%$ ，对于表面组装应 $\leq 0.75\%$ ，如图 3.53 所示。



①—弓曲；②—A、B、C 三点接触基板；③—扭曲

图 3.53 可接受的弓曲和扭曲

2) 拒收

通孔插装弓曲和扭曲 $> 1.5\%$ ；表面组装 $> 0.75\%$ 。

9. 焊盘的起翘

1) 可接受

在导线、焊盘与基材之间没有分离或分离小于一个焊盘的厚度，如图 3.54 所示。

2) 拒收

在导线、焊盘与基材之间的分离大于一个焊盘的厚度，如图 3.55 所示。

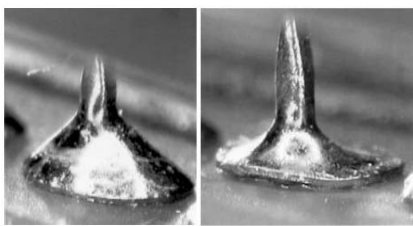


图 3.54 可接受的焊盘起翘

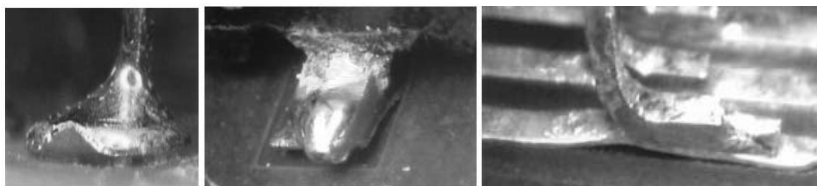


图 3.55 拒收的焊盘起翘

3.4 PCB的可制造性设计

3.4.1 可制造性设计的重要性

可制造性设计（DFM），也称面向可制造性设计（Design for Manufacture），它是一种产生稳健性设计的方法，是指产品设计在保证电气性能的前提下，尽可能使产品在已有的生产条件下制造出来，以最大限度提高产品的利润。

对于开发一个产品而言，客户的要求通常都是一致的。它通常包括三方面，即良好的质量（交付的产品没有缺陷、在产品使用初期不出现故障、产品在使用期中不出大故障）、相对较低的成本（或价格）和短而及时的交货期。这一客户要求客观上使得设计人员不仅仅要把产品的功能和性能设计出来，而且必须对影响质量、成本、交货期的各个方面负责。同时由于设计人员对这三个方面具有绝对有影响和控制能力，也使得可制造性设计成为可能。

站在客户的立场看，在价格一定的情况下，质量是首要因素。一般影响质量的过程有两个：首先通过设计过程（进行稳健的产品设计）保证质量（实现客户满意）；其次通过制造过程保证质量（实现客户满意）。由于设计是保证产品质量的第一站，从效益学观点上来说，问题越早解决，其成本效益也就越高，对产品造成的损失也就越低。在生产管理上，国外曾做过统计，即在每个主要工序上，后一道工序的解决费用为前一道工序的 10 倍以上。而如果没有在试制时解决，当它流到下一个主要阶段——批量生产时，其解决费用就可能高达 100 倍以上。而且对于因设计而产生的制造问题，即使拥有最好的设备和工艺，有些也未必能够很好地解决。所以，设计是保证产品质量的首要因素。

质量不是检验出来的，而是设计和制造出来的，因此两个过程的协调非常重要。好的质量是通过良好的设计（配合工艺和生产能力的的设计）优良的工艺规划和生产线良好的工艺管理而获得。要确保产品高而稳定的质量、高生产效率和低生产成本，以及准确的交货时间，



必须要有一套所谓的稳定的工艺（Robust Process）。而稳定工艺又是必须通过设计、工艺能力和设备性能之间的完好配合才能实现的。因此，设计是保证产品制造质量的基础。

在现代电子装联中，随着 SMT 技术的普遍应用，诸如元器件封装、散热设计、组装能力、工艺原材料、元器件等对质量的影响越来越明显。如果在设计时不综合考虑这些因素，将会带来较高的制造成本、较高的维护成本以及导致投入检验、测试和返工的资源增加、制造周期延长的问题。Motorola 公司的一项统计表明，未进行可制造性设计会引起花费在维护和返工上的费用达销售收入的 10%~20%。

3.4.2 制造工艺能力

尽管技术不断进步，电子产品不断向高密度、多功能、小型化方向发展，但其设计方法基本没有变化，电子产品的制造工艺主要集中在 PCB 制造、PCBA 装配、机械加工等环节。电子产品制造工艺简易流程如 3.56 所示。

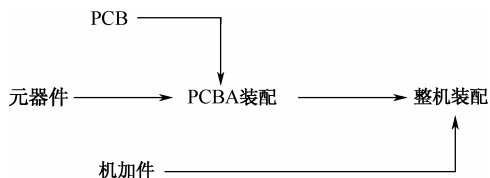


图 3.56 电子产品制造工艺简易流程

电子产品是通过工艺制造来完成的各种材料的组合，设计人员给材料、工艺特性确定了产品的标称值。如图 3.57 所示，正常情况下，产品特性的最大变动范围决定了相对于标称值的公差，而公差区间则由公差上限（USL）和下限（LSL）表示。



图 3.57 工艺能力指数

制造工艺的离散性通常可用均值 μ 和标准偏差 σ 的正态函数表示，工艺能力定义为对指定特性常规制造工艺的整个变动范围；制造工艺离散性应在产品的公差区间内，工艺能力和公差区间的交集决定了废品率的水平，如图 3.58 所示。

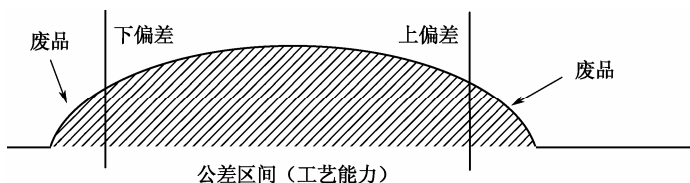


图 3.58 废品率水平由工艺能力和公差区间决定

工艺能力指数可把制造和设计人员提高质量的目标结合起来。设计和制造工程人员之间典型的可制造性利益冲突是质量和成本。设计人员要求尽可能严格工艺限制，并规定最小的设计公差，以保证产品功能实现；而制造人员则要求设计人员给出的制造公差要宽，且能连



续操作，并尽量减少废品，此时采取工艺能力指数可平衡二者关系。

工艺能力指数 C_p 为

$$C_p = \frac{\text{规格范围 (设计公差)}}{\text{工艺能力 (工艺变化)}} = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

C_p 为可预测产品废品率， C_p 值高，说明工艺制造能精确地重复制造，产品质量高。因此，设计人员应最大程度地增加允许公差，而制造工程师则要尽可能减少制造工艺的变化。例如，在 PCB 设计过程中，设计人员可以选择更多 PCB 层数，因为层数增加可缩短布线时间；而层数减少，布板难度增加，时间延长。但 PCB 制造人员反倒不喜欢层数的增加，因为加工难度增加，废品率也会提高。

根据工艺能力的概念，可以得出提高产品质量有两种策略：

- ① 放宽产品的规格限制，保持同样的制造变化水平，使缺陷更少。
- ② 减少制造过程的变化，主要提高原材料质量，保证加工过程，加强维护，减少变化源。

PCB 是电子产品的关键材料，它主要作用是连接单个电子元器件的载体。PCB 一般是用标准工艺制造的，通常用自动化设备来提高它们的质量，降低成本。为最大限度利用 PCB 厂设备，PCB 钻孔、绿油、丝印、拼板、叠层等工序都必须设置具体的公差要求，这些要求是规范设计人员进行 PCB 设计的必要条件。

针对 PCB 上不同材料的封装类别，PCBA 的装配流程和要求是不一样的。带有插件器件的 PCB，必须考虑成型、波峰焊焊接、传送等要求；带有表面贴装元器件的 PCB 则要考虑自动传送、自动识别、单双面器件布局、焊膏、贴片、回流、等工序的要求。要从质量、效率、成本、加工周期等多方面权衡工艺能力对设计的影响。

装配工艺主要包括人工装配、半自动化装配和全自动化装配。人工装配对设计的约束较小，但装配的一致性和质量得不到保证；采用半自动化设备进行装配，基本上能够弥补人工装配一致性差的问题，对设计有一定的约束，如压接模具往往会要求一定的无元器件 PCB 空间；而全自动装配的效率、质量是最高的，但灵活性不足，往往设计要求较多，如 SMT 等。

3.4.3 可制造性设计过程

按照并行工程方法设计合理的实现流程，在 PCB 设计中是首先要考虑的。一般来讲，PCB 设计会经过项目立项、系统设计、详细设计、产品试制和量产等阶段，每个阶段需要开展的具体工作介绍如下。

1. 立项阶段

立项阶段属于项目组收集可制造性需求阶段。可行性研究任务书下达后，工艺人员应随同并行工程小组一起进行新项目调研、用户访问（市场调研或质量改进）。侧重点应在于国内外同行和竞争对手方面的工艺信息收集，同时参加项目可行性评审。依据公司工艺水平进行新项目可生产性论证，提供项目的工艺可行性报告。报告应包含研发产品的信息、尺寸、质量、同行生产情况、公司工艺能力、经验教训、同行分析、该项目独特需求、可能遇到的工艺难点等内容（含需要解决的新工艺、新材料、新设备、新封装）。



2. 系统设计阶段

系统设计阶段工艺人员应结合项目研制规范,参与项目组需求开发,提出可制造性设计要求,制定项目装联工艺方案,对于需要进行工艺导入研究的,负责组织相关人员,制订试验方案,实施工艺试验。

在 PCB 设计标准中应有 PCB 组成状况的基本描述,至少提供以下工艺设计信息:

- ① 产品的使用条件、功能要求和品质要求。
- ② 关键元器件封装特征(封装类别、引脚数量/间距、封装体尺寸)及数量。
- ③ PCB 的基材性能要求、尺寸、最大允许厚度、数量。
- ④ 每种元器件数量的大致范围(500、1000、1500、2000)。

电路系统设计是结构设计及 PCB 设计的依据,在系统设计阶段 PCB 工艺工程师应参与系统电路的划分工作,从工艺角度做好服务,力求使每块 PCB 的元器件摆放密度均衡、工艺性优化。工艺人员应协助电路设计人员把好关键元器件选型工作,这是做好工艺设计的前提条件。元器件的选用应尽可能采用已有材料的代码。同时,工艺人员应开展新工艺试验,对试验结果进行分析和评估。

3. 详细设计阶段

PCB 设计前,工艺人员应确定单板组装方式,力求工艺流程最少,手工作业最少。装联工艺经理在必要时给予协助,应与 EDA 人员、硬件开发人员共同确定 PCB 的基材材质、厚度,审查 PCB 的外形图;同时负责工艺试验报告结论的实施。

元器件布局时,采用统一的元器件焊盘库进行 PCB 设计,工艺人员负责元器件的布局工作。PCB 布线时,应按照 PCB 厂家和组装厂家推荐工艺能力进行布线设计,以满足工艺性要求。PCB 设计完成后,PCB 设计人员向 PCB 工艺人员提供评审必需的有关文件,供初审使用。审查时,要严格按照 PCB 可制造性设计检查单(Checklist)进行工艺审核。同时,设计人员需要对审核人员提出的问题进行修改。

4. 产品试制阶段

准备进行试制的 PCB 在试制前必须进行全面的可制造性评审;试制后,将评审问题和生产中出现的问题汇总,通过 IT 系统知会设计人员,再进行设计改进。试制结束后,工艺人员应提供工艺评审报告。

5. 量产阶段

设计方面主要涉及硬件级的改进和系统级改进,工艺上则需要不断稳定和优化。

3.4.4 PCB 电子装联可制造性设计

1. PCB 可制造性设计需要考虑的内容

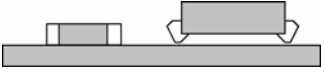
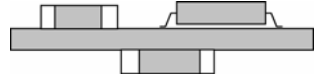

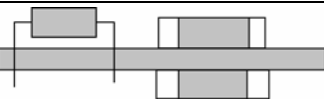
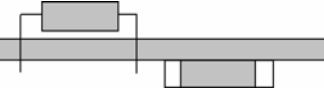
对现代电子装联来讲,印制电路板(PCB)是其中关键的部件之一,随着电子产品向小

型化、多功能方向发展，PCB 设计已经变得越来越复杂，制约 PCB 设计的因素也就越来越多，因此其设计的好坏，会直接影响到最终产品的制造能力和质量水平，也成为可制造性设计水平的集中体现。做好印制电路板的可制造性设计工作，是整个电子产品设计的重中之重。

PCB 设计受到许多因素的约束。一般来讲，设计越合理，其制造、测试、可靠性就越优越。PCB 设计过程中，通常涉及基材和元器件选择、散热设计、焊盘设计、PCB 布局、布线和生产测试等方面。

组装形式的选择：组装形式，即 SMD 与 THC 在 PCB 正反两面上的布局。选择合适的组装形式，是 PCB 设计前首先需要考虑的。因为该组装形式会直接影响后续制造过程，不同的组装形式对应不同的工艺流程，它受现有生产线的限制。通常，PCB 组装形式如表 3.2 所示。

表 3.2 PCB 组装形式

组 装 形 式	示 意 图	PCB 设计特征
单面全 SMD		仅一面装有 SMD
双面全 SMD		A、B 面装有 SMD
单面元器件混装		仅 A 面装有元器件，既有 SMD 又有 THC
A 面元器件混装，B 面仅贴简单 SMD		A 面混装，B 面仅装简单 SMD
A 面插件，B 面仅贴简单 SMD		A 面装 THC，B 面仅装简单 SMD

注：① 简单 SMD 主要指 CHIP、SOT、引线中心距大于 1 mm 的 SOP。

② 另外还应该注意：在波峰焊的板面上（后两种组装方式）尽量避免出现仅几个 SMD 的情况，它增加了组装流程。

组装方式说明如下。

（1）关于双面全 SMD 板。

双面全 SMD，这类板采用两次再流焊工艺，在焊接第二面时，已焊好的第一面上的元器件焊点同时再次熔化，仅靠焊料的表面张力附在 PCB 下面，较大较重的元器件容易掉落。因此，元器件布局时尽量将较重的元器件集中布放在 A 面，较轻布放在 B 面。

（2）关于混装板——A 面元器件混装，B 面仅贴简单 SMD。

混装板 B 面（即焊接面）采用波峰焊进行焊接，在此面所布元器件种类、位向、间距一定要符合波峰焊接设备能力的相关要求。

一旦确定好合适的组装形式后，从可制造性角度来讲，接下来要考虑以下几个主要方面。

- ① 自动化生产所需的传送边、定位孔、光学定位符号。
- ② 与生产效率有关的拼板。



③ 与焊接合格率有关的元器件封装选型、基板材质选择、组装方式、元器件布局、焊盘设计、阻焊层设计。

④ 与检查、维修、测试有关的元器件间距、测试焊盘设计。

⑤ 与 PCB 制造有关的导通孔和元器件孔径设计、焊盘环宽设计、隔离环宽设计、线宽和线距设计。

⑥ 与装配、调试、接线有关的丝印或腐蚀字符。

⑦ 与压接、焊接、螺装、铆接工艺有关的孔径、安装空间。

⑧ 与热设计、EMC 等可靠性设计有关的焊盘、导线要求。

2. 基板的设计

选择适当的材料是电子产品设计工作中的重要组成部分。基材的选择必须考虑到其寿命和可制造性。许多设计人员只注重元器件的电气性能、供货能力和成本的做法是不全面的。在电子产品中,大部分所用的基材都对温度有一定的反应或敏感性。而在单板的组装过程中,有时会经过不止一次的高温冲击。因此,元器件和基材的性质是否会变化、元器件原有的寿命是否会缩短等,这些都是需要加以考虑的。在电子产品的使用寿命周期内,产品本身也会经历一些热变化,如环境的温度变化、产品本身电源的接通/切断和产生的电冲击等,这些变化对电子产品起着不利的影响,是影响电子产品寿命的主要根源之一,这些因素要求基材的选用必须受到重视。

基板的作用,除了提供组装所需的架构外,也提供电源和电信号所需的连接和散热的功能。所以对于一个好的基板,要求其具有以下功能:足够的机械强度(耐扭曲、振动和撞击等);能承受组装工艺中的热冲击;足够的平整度以适应自动化的组装工艺;能承受多次的返修(焊接)工作;适合 PCB 的制造工艺;良好的电气性能(如阻抗、介质常数等),耐潮湿性能。在基板材料的选择工作上,可以将所有产品性能参数(如耐湿性、布线密度、信号频率或速度等)和材料性能参数(如表面电阻、热导、温度膨胀系数等)的对应关系一一列出。作为设计参考使用。

目前,较常用的基板材料有 XXXPC、FR2、FR3、FR4、FR5、G10 和 G11 等多种。XXXPC 是低成本的酚醛树脂,其余的为环氧树脂;FR2 的特性和 XXXPC 接近,但有阻燃性;FR3 是在 FR2 的基础上提高了其机械性能;G10 较 FR3 的各方面特性都较强,尤其是防潮、机械性能和电介质方面;G11 和 G10 接近,不过有较好的温度稳定性;FR4 最为常用,性能也接近于 G10,可以说是在 G10 的基础上加上了阻燃性;FR5 则是在 G11 基础上加了阻燃性。从成本和性能质量方面考虑,目前,FR4 可说是最适合一般电子产品批量生产应用的材料。根据电子产品特点,一般推荐采用 FR4 基板。表 3.3 列出了在电子通信领域中几种常用基板材料的性能。

表 3.3 常见基材性能

类 型 (美国军标国标)	最高连续温度 (℃)	说 明
G-10 CPFCP-31/33	130	环氧玻璃布层压板,不含阻燃剂,可以钻孔但不允许用冲床冲孔。性能与 FR-4 层板相似,适用于多层板,在美国得到广泛应用
G-11	170	同 G-10,但可耐更高的工作温度



续表

类 型 (美国军标国标)	最高连续温度 (℃)	说 明
FR-4 CEPGC-32F CEPEG-34F	130	环氧玻璃布层压板, 含阻燃剂, 具有良好的电性能和加工性能, 适用于多层板, 广泛应用于电子工业, 具有可取的性能价格比
FR-5	170	同 FR-4, 但可在更高的温度下保持良好强度和电性能。温度高于 170℃ 后, 电性能下降。对双面再流焊的板可以考虑选用
GPY	260	聚酰亚胺玻璃纤维层压板, 在高温下它的强度和稳定性都优于 FR-4 层板, 用于高可靠的军品中
GT	220	聚四氟乙烯玻璃纤维层压板, 介电性能可控, 用于高频电路
GX	220	同 GT, 但介电性能更好
Al ₂ O ₃		材料为 96% 高纯 Al ₂ O ₃ , 具有良好的电绝缘性能和优异的导热性, 可用于高功率密度电路的基板。主要用于厚、薄膜混合集成电路
ROGERS/RO4350	150	陶瓷填充, 材料各向稳定性好, 硬度高, 可加工性好, 用于高频宽带电路板, 3G 电路板
PTFE	105	聚四氟乙烯, 材料较软, 介电常数 (Dk) 低, 为高频/微波材料, 可用于 3G 电路板, 可与普通 FR-4 材料进行混压, 以提高其刚性和降低成本
AL 基	130	主要用于功率混合集成电路、小型开关电源及功率模块的基板, 具有高热传导率、电绝缘学性和耐电压性、高温及高湿可靠性、耐冲击性和耐热性等特点
PPO/PPE	130	是一种高性能热塑性材料, 具有优异的电性能和耐热性能
25FR/25N	105	与 RO4350 材料类似, 性能很接近, 可互相代替

注: 表中的基板类型代号为 (美) NEMA 中的代号。

PCB 厚度, 指的是其标称厚度 (即绝缘层加铜箔的厚度)。PCB 厚度的选取应该根据其尺寸大小和所安装元器件的质量选取。从 DFM 角度考虑, 选取合适的板厚可以防止其在制造时的翘曲变形。

PCB 铜箔厚度指成品厚度, 图纸上应该明确标注为成品厚度 (Finished Conductor Thickness)。要注意的是, 铜箔厚度要与设计的线宽/线距相匹配, 表 3.4 列出了基铜厚度 (底铜厚度) 可蚀刻的最小线宽和线间距。

表 3.4 PCB 铜箔的选择

基铜厚度		设计的最小线宽/线间距 (mil)
(oz/ft ²)	(μm)	
5	175	11/15
4	140	12/12
3	105	10/10
2	70	8/8
1	35	6/6
0.5	18	4/4

3. 元器件的选择

在可制造性考虑上, 元器件的选择始于对封装的了解。元器件的封装种类繁多, 也各有各的长短处。作为设计人员, 对这些封装技术应该有一定的认识, 才有能力在可选择的范围



内做出最优化（即适合高质量高效率的生产）、最适当的选择。要做出合理的选择，设计人员应该要有最基础的知识。比如去了解元器件封装的目的，如果了解到封装的目的之一是提供散热，那在设计时会自然而然地考虑到不同封装的散热性能。了解到散热和 IC 的引脚材料有关后，便自然而然地考虑到是否需要采用铜而放弃 42 号合金引脚之类的问题。

对元器件的选择，一般必须考虑最少有以下几方面：电气性能；占地效率（三维）；成本和供应；元器件可靠性和使用环境条件；和设计标准的吻合；适合厂内的工艺和设备标准；可组装性、可测试性（包括目视检查）、可返修性；和制造相关的资料是否完整可得（如元器件完整详细外形尺寸、引脚材料、工艺温度限制等）。

对于元器件封装和组装工艺相关的问题，已不只是工艺或生产工程师的事了。设计人员和元器件供应商也应该有所了解。比如在“爆米花效应”（Pop-corn Effect，因元器件吸湿而在回流过程中爆裂的现象）的考虑上，又如对 SOIC 的底部浮起高度的考虑。市面上有不太统一的标准，设计人员应该了解到不同高度指标对厂内现有的工艺和设备将会造成什么影响。如当产品设计较大、厂内工艺采用清洗工艺时，元器件选择上就应该规定较高离板高度的元器件。

元器件的引脚端点也是考虑点之一。目前 SMD 中有较常用的无引脚端点、扁平引脚、翼形引脚、J 形引脚、I 形引脚和球形引脚几种，如图 3.59 所示。

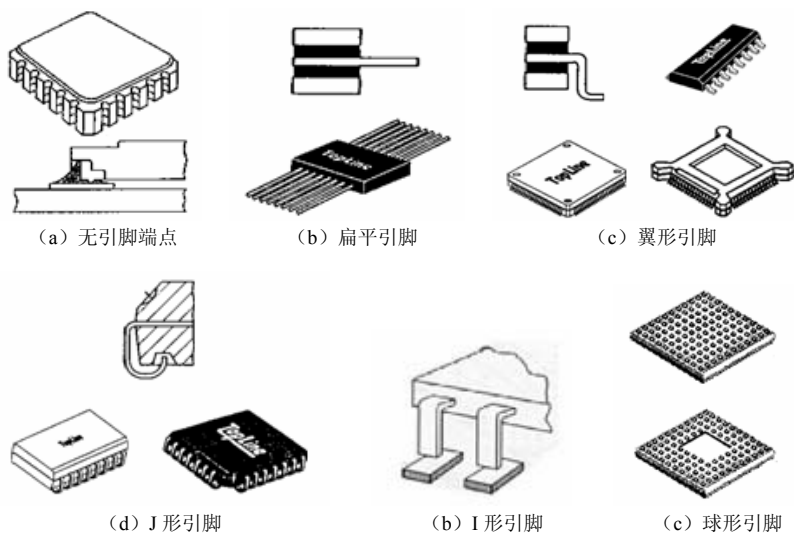


图 3.59 常见元器件引脚形式

(1) 无引脚端点元器件的优点是体形小、结构坚固（没引脚损坏的可能）和便于进行目视焊点检查。缺点是在温度系数失配下较其他引脚的寿命短，焊点的相对稳定性较差。

(2) 扁平引脚的优点是产品的组装高度可以较低，引脚可通过引脚框来保护。缺点是需要特别的包装，组装前可能需要额外的引脚成型工序，寿命不如翼形和 J 形引脚，供应商较少。

(3) 翼形引脚是最常用的引脚技术，优点是检查容易，适用于各种焊接技术，寿命相当好，测试容易，可以处理较小的间距。缺点是引脚较易损坏，元器件体形较大，以及不良的平界面问题。

(4) J 形引脚技术和 I 形引脚一样具有体形较小的优点，引脚结构也坚固，元器件有较



好的清洗效益；缺点是不适用于非回流焊接技术，目视检查较困难。元器件体形较高，波峰焊接难度较高和寿命不比翼形引脚长。

(5) I 形引脚的优点是体积较小，引脚相当坚固，较 J 形引脚的寿命长，可以改自插件引脚；缺点是供应商少，可能需要成形后的额外镀锡工序（成本高），工艺管制要求较高。

另外，还有一种新发展起来的引脚（应称为端点较合适），即使用在 BGA、FC 和 CSP 上的矩阵式球形端点。这类技术的优点是微型化效率高（不需要微间距设计而可以有较多的端点寻引线），相当坚固，间距较大（对同数目的引脚而言），回流过程中有较好的自动对中性。缺点是基板的布线较复杂。焊后难以检查，测试较困难，工艺要求较高和不可能实行非回流的返修，返修工作较难而设备投资也较大。

在翼形引脚中，虽然同为翼形引脚，但有长短之分，而且引脚长度的范围相当的广，各国际标准也不同。长引脚有较强的垂直抗拉力和抗横切力，回流前的吸附能力强，也适合于双面回流的应用，但占地较大和较易损坏。

另一应该注意的是标准的问题。市面上有公制和英制两种尺寸，美国用户和标准机构多采用英制，日本则全采用公制，其他区域则两者都用。由于两者间的尺寸对换不能够完全吻合，例如公制标准中的 0.8 mm 并不完全相等于英制标准中的 30 mil。如果设计焊盘时采用的是一种尺寸制度而元器件采购时又是另一种制度，就会造成元器件在组装时所有引脚无法完全对冲的结果，对于大及细间距的元器件来讲，问题更严重。

在对待国际标准中还应注意到的一点，就是各国际标准都有些出入，没有得到统一和认同。例如，对于 SOT 封装，流行于日本的 EIAJ 标准和流行于美国的 JEDEC 标准中对元器件宽度和底部高度便有很大的差距。设计和采购如不配合，有可能在生产线上造成不稳定甚至高故障率的后果。

在设计工作中的元器件选择上，设计人员应该对厂内设备是否能有效地处理所选的元器件封装要有足够的认识，否则选中的元器件不是需要特别定制吸嘴，就是拾放不稳定而抛料太多，对日后的生产效率和成本都不利。同样，目前贴片设备采用了好几种不同的元器件对冲系统。它们的性能和针对性都不一致。所选的元器件是否最适合制造设备，也是设计时应注意的。元器件的选择考虑也应包括元器件的包装，不同的包装有不同的生产效率和成本，应按厂内设备和管理的情况加以考虑选择。

为了优化工艺流程，提高产品档次，在市场可提供稳定供货的条件下，尽可能选用表面贴装元器件（SMD/SMC）。对连接器类的机电元器件，元器件体的固定（或加强）方式尽可能优选压接安装结构，其次才选焊接型、铆接型的连接器。此外，还需考虑器件耐温及高度对生产工艺的限制要求。元器件选型不当将影响器件的精确贴片甚至无法生产、检焊和返修。

4. 定位孔和基准点

PCB 的定位孔，如果是用作基准对位用途和不是固定作用的话，设计时只应该在基准孔上是正圆形的。一般设备的定位针都有两根，所以定位孔也最少有两个。除了基准孔外，另外的孔就不应该是正圆形的，而应该是在基准孔同一方向上延伸式的设计。此外，为了避免错位时损坏基板，可考虑把孔在基板的对边也有对称的设计。如果基板尺寸是正方形的，那也得确保四边对称。注意这里所要防止的是基板因错位而被损坏，自动设备应该还要有能力辨别错位，停止进行无谓的加工。



基准点是供自动化设备做自动对位用的,按精度需求可采用拼板基准、子板基准或局部器件基准。在不采用拼板设计时(即每块板是一个线路),前两者是相同的。对于尺寸较小、精度要求不高的 PCB 板,则可以不使用个别基准点。值得注意的是,采用基准点对中是未必需要的,所以设计时可以给予考虑。

基准点的形状可以有很多种。设备供应商常说其设备可以处理各种各样的基准图形,甚至可采用焊盘图形。其实多数的设计对不同的图形都有不同的能力。为了做到最好(准确而稳定),设计人员应对厂内设备对不同图形的识别和计算能力有足够的了解并采用相应最优化的图形做基准点。

为了达到最准确,基准点的位置最好是在基板的对角上,并且距离越远越好。基准点的数量也重要,最少 2 点。但如果要处理非线性的补偿则必须要有 3 点(应该确保所使用设备的补偿计算有此功能),还可以采用第 4 点作为后备(也需确保设备能处理)。基准点对基板在设备中的机械定位基准面(如板边或定位孔)不应该有相同的距离,最好是相差超出一个设备的视觉范围 FOV(Field Of Vision)之外,这样能用做错位时的分辨工作。

为了确保有足够和良好的光学反差,基准点的平整度应给予关注。如果 PCB 采用热风整平技术,基准点应该设计得较大。阻焊层不可覆盖基准点,以免造成反差不良。基准点周边也应该有足够的空位,以免布线或绿油等影响识别的稳定性。有一种好的做法是在基准点位置的下方(基板背后或内层)设置足够大小的铜来增加反差。

基准点的位置,也应该被用作是整个 PCB 坐标的零点。许多设计还是采用板的一角等作为零点,这样的做法对日后的工艺管制没有帮助。

5. PCB 传送设计

PCB 设计应从基板如何在自动化设备中处理开始。比如设备自动传送带所需的留空宽度、基板在每处设备中的定位方式和需求(如边定位需要一定的厚度和平整度等)、定位孔的位置、形状和尺寸要求等,都应该给予清楚的确定。以免设计出的产品不适合处理或在处理中会有对质量和效率不利的现象。

尺寸范围:外形尺寸不能太大,也不能太小。外形尺寸太大、太小,都会超过设备加工能力。

传送方向的选择:从减少焊接时 PCB 的变形,对不做拼板的 PCB,一般将其长边方向作为传送方向;对于拼板也应将长边方向作为传送方向。对于短边与长边之比大于 80% 的 PCB,可以用短边传送。

传送边设计要求:如采用 ERS A 波峰机,作为 PCB 的传送边,两边应分别留出 $\geq 3.5\text{mm}$ 的宽度,传送边正反面在离边 3.5 mm 的范围内不能有任何元器件或焊点;能否布线视 PCB 的安装方式而定,导槽安装的 PCB 一般经常插拔不要布线,其他方式安装的 PCB 可以布线。对双面回流, B 面传送边的两边应留出不少于 5mm 宽的传送边。

6. 拼板设计

拼板的目的是为了提高生产效率,使不能满足工艺能力的设计符合加工要求,减少制造缺陷,从而达到大规模生产的目的。



采用拼板结构时,当将经过多次安装和焊接的 PCB 进行分割时,对靠近转角的边缘区的元器件必然产生较大的扭曲变形,从而附加较大的应力而可能导致焊点和元器件开裂或裂纹。由于 SMC/SMD 没有柔性引线来吸收板子产生的机械应力,故更易造成 SMC/SMD 的损伤。因此,采用预刻线的拼板结构形式可使分板时翘曲变形最小,使元器件所受的应力和缺陷减到最小。

拼板的连接和分离可采用双面对刻 V 形槽 (V-Cut)。V 形槽深度 (两面槽深之和) 一般为板厚的 1/3 左右,要求刻槽尺寸精确且深度均匀。

7. PCB 阻焊设计

1) 一般设计考虑

阻焊层主要目的是防止波峰焊焊接时桥连现象的产生。

在基板技术的可制造性考虑上,阻焊层 (绿油) 的应用是其中的一个重点。一般设计人员很少去了解基板制造商对绿油材料的选择和应用,也缺乏这方面的知识:所使用阻焊层的化学特性,必须能符合基板的组装工艺 (返修、点胶固化、油印等),也必须能兼容或接受组装工艺上所采用的一切化学材料,如助焊剂和清洗剂等,这方面的资料应向基板供应商索要。在需要时可以要求基板或绿油、助焊剂供应商协助试验分析。

阻焊膜的设计主要是确定开窗方式和焊盘余隙。

通常,对通信电子类产品来讲,一般采取以下开窗方式。

① 当表面组装元器件焊盘间隙 $\geq 0.25 \text{ mm}$ 时,采用单焊盘式窗口设计;间隙 $< 0.25 \text{ mm}$ 时,采用群焊盘式窗口设计,如图 3.60 所示。

② 对金手指,应该开大窗口 (类似群焊盘式),且金手指顶部与附近焊盘间距离须 $\geq 0.5 \text{ mm}$ 。

③ 导通孔阻焊方式应根据 PCB 的生产工艺流程来设计。

④ 连接导线焊盘,如果导线需要无阻焊设计 (如射频电路),建议在器件焊盘处加阻焊焊 (框)。采用双面回流工艺,过孔的阻焊方式可以采用塞孔、开满窗的设计;对于 BGA 下的过孔,元器件面可以采用覆盖方式;如采用波峰焊焊接工艺,则只能采用塞孔的方式。

同样,对通信电子类产品来讲,焊盘余隙的设计考虑如下:

表面组装 PCB 的阻焊涂层大多数采用液体光致成像阻焊剂工艺来实现的。采用这种工艺,阻焊窗口的尺寸一般应该比 PCB 上对应焊盘单边大 0.1 mm ,如图 3.61 所示,以防止阻焊剂污染焊盘。对细间距元器件,单边可以小至 0.075 mm 。

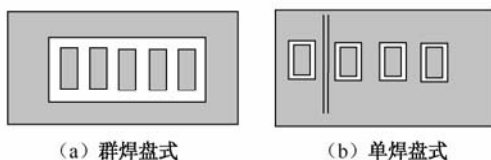


图 3.60 阻焊膜的涂覆方式

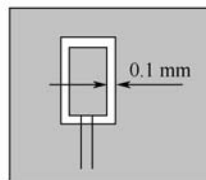


图 3.61 阻焊膜的尺寸



2) 导通孔的阻焊设计

(1) 导通孔阻焊的几种方式。

① 覆盖（单面绿油入孔）：如图 3.62 所示。由于 PCB 制造和焊接时会有气泡产生，影响可靠性，除非不得已情况下，尽量不要采用这种方式。

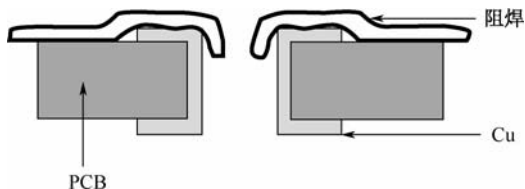


图 3.62 覆盖（绿油入孔）

② 开小窗：如图 3.63 所示。

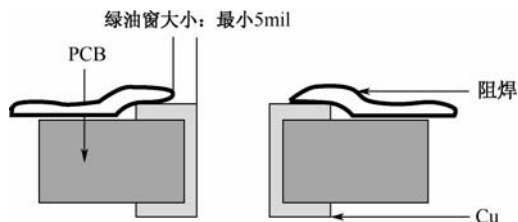


图 3.63 开小窗

③ 开满窗：如图 3.64 所示。

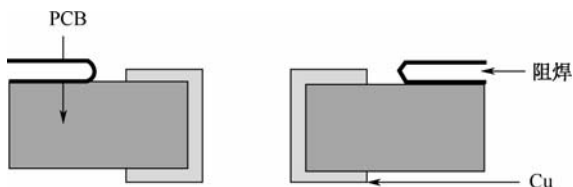


图 3.64 开满窗

④ 塞孔：如图 3.65 所示。

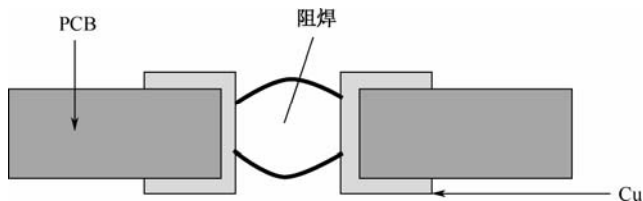


图 3.65 塞孔

(2) BGA 导通孔设计。

① BGA 区域的导通孔阻焊设计，如表 3.5 所示。

表 3.5 BGA 区域的导通孔阻焊设计

导通孔用途	阻焊设计要求	备 注
作测试点	方式 1: 元器件面开小窗, 焊接面开满窗	在波峰焊接工艺中不推荐
	方式 2: 导通孔塞孔, 焊接面开满窗	
不作测试点	塞孔	

注: 元器件面是指 BGA 器件所在的一面, 焊接面是指与元器件面相对的一面。

② BGA 区域外的导通孔阻焊设计, 如表 3.6 所示。

表 3.6 BGA 区域外的导通孔阻焊设计

导通孔用途	阻焊设计要求
作测试点	方式 1: 两面开满窗
	方式 2: 元器件面开小窗, 焊接面开满窗
不作测试点	塞孔、开小窗、开满窗均可

注: 元器件面是指 BGA 器件所在的一面, 焊接面是指与元器件面相对的一面。

8. 丝印设计

字符图, 应包括元器件的图形符号、位号、PCB 编码、安全标识等其他符号。字符图不仅是 PCB 上丝印字符的模板, 也是 PCB 装配图的一部分, 必须仔细绘制, 以便正确指导 PCB 的装配、接线和调试。绘制时必须注意下列几点。

(1) 一般在每个元器件上必须标出位号(代号)。对于高密度 SMT 板, 如果空间不够, 可以采用引出的标注方法或标号标注的方法, 将位号标在 PCB 其他有空间的地方; 如果实在无空间标注位号, 在得到 PCB 工艺评审人员许可后可以不标, 但必须出字符图, 以便指导安装和检查。

(2) 字符图中的丝印线、图形符号、文字符号不得压住焊盘, 以免焊接不良。

(3) 元器件的表示方法: 元器件一般用图形符号或简化外形表示, 图形符号多用于插装元器件的表示, 简化外形多用于表面贴片元器件、连接器以及其他自制件的表示; IC 器件、极性元器件、连接器等元器件要表示出安装方向, 一般用缺口、倒脚边或用与元器件外形对应的丝印标识来表示; 对立式安装的元器件, 为了方便装配, 建议将元器件侧的孔用实心圈标出, 若有极性还要在引线侧标注极性, IC 器件一般要用小圆圈表示出 1 号引脚位置, 对 BGA 器件用英语字母和阿拉伯数字构成的矩阵方式表示; 极性元器件要表示出正极, 用“+”表示; 二极管采用元器件的图形符号表示, 并表示出“+”极; 转接插座有时为了调试和连接方便, 也需要标出针脚号。

9. 元器件布局设计

元器件的布局可以影响以后的工作效率, 如检验和返修工作等。在有能力的情况下, 设计人员应该尽量按照以下布局进行设计: 元器件方位的标记(尽量做到同类封装元器件方位一致); 将同类功能的线路集中在一起; 同类封装元器件的距离相等; 所有元器件编号的印刷方位相同。

设计元器件的方位时, 除了散热考虑外, 还得注意方位对组装工艺是否有不良的影响。



如在波峰焊焊接工艺中,许多 IC 的方位对工艺的成功率都有影响。除非在焊盘设计上有能力做到十分完善的补偿,否则在元器件布局时应尽量采用最佳方位来布局。

元器件在 PCB 上的正确安装布局设计是降低焊接缺陷率的极重要的一环。在进行元器件布局时应尽量远离挠度很大的区域和高应力区,分布应尽可能均匀,特别是对热容量较大的元器件,应尽量避免采用过大尺寸的 PCB,以防止翘曲。

10. PCB 布线设计

1) 一般设计考量

PCB 导线线形设计的优劣,不仅对 PCB 的机电性能有较大影响,而且还是构成波峰焊焊接缺陷(如桥连、拉尖、钎料瘤等)的重要因素。PCB 导线线形设计要求导线应平滑均匀,渐变过渡,切忌成直角或锐角的急转弯。以避免在波峰焊焊接中,在尖角处出现附加应力而引起铜箔断裂、起翘、剥离及形成焊疤或钎料过分堆积等疵病。大面积的铜箔面可通过设置网孔或窗口避免波峰焊焊接时极易形成“焊料瘤”。

2) 布线焊盘设计

元器件焊盘的尺寸,对 SMT 产品的可制造性和寿命有着很大的影响,所以它是 SMT 应用中必须做好的工作。影响焊盘尺寸的因素众多,必须全面地配合才能做好。所以 SMT 用户应该开发适合自己的一套尺寸标准而且必须有良好的档案记录,详细记载各种重要的设计考虑和条件,以方便将来的优化和更改。由于目前在一些因素和条件上还不能找出具体的和有效的综合数学公式,用户还必须配合计算和试验来优化本身的标准,而不能单靠采用他人的标准或计算得出结果。

一个好的焊盘设计,应该提供在工艺上容易组装、便于检查和测试,以及组装后的焊点有很长的使用寿命等条件。设计考虑上的焊盘定义,包括焊盘本身的尺寸、绿油或阻焊层尺寸、元器件占地范围、元器件下的布线和(在波峰焊工艺中)点胶用的虚设焊盘或布线的定义。

决定焊盘尺寸的主要因素有五个方面:元器件的外形和尺寸、基板种类和质量、组装设备能力、所采用的工艺种类和能力,以及要求的品质水平或标准。在考虑焊盘的设计时必须配合以上五个因素整体考虑。计算尺寸公差时,如果采用最差情况方法(即将各公差加起来,做总公差考虑的方法),虽然是最保险的做法,但对微型化不利而有难照顾到目前统一不足的巨大公差范围。所以工业界中较常用的是统计学中接受的有效值或均方根方法。

贴片器件的焊盘设计需考虑的因素很多,必要的钎料量是确保接合部可靠性的前提,元器件的贴装精度可防止元器件的贴装位置偏差。在不影响 PCB 布线间隙和安装密度的前提下,焊盘尺寸通常应尽量往大的允差靠近。对在再流焊接过程中可能出现的桥连、翘立等现象,在设计时要采取一定的预防措施。

11. 过孔设计

过孔在产品的寿命故障上也是主要问题之一,在设计上有些可以照顾到的地方。较常见的问题是过孔镀层的断裂而最终导致开路的现象。断裂的现象常出现在孔的内壁中间和孔



上、下面的转弯处。孔内壁中间的问题是由于基板的制造时电镀工艺做得不好：在转弯处是因为热循环造成(FR4基板的垂直温度膨胀系数较水平面的要高得多)。虽然这些和PCB基板的制造工艺有关，但不良的设计使PCB的可制造性差而引起问题是常见的事。

过孔电镀工艺是否能做得好，除了制造者的工艺能力外，和过孔的尺寸也有很大关系。比如一般的工艺，对小于0.5mm孔径和外形比(孔深对孔径)大于3的过孔，是较难有可靠工艺的。所以为了确保较可靠的产品，设计过孔时就必须注意到这些。镀层的厚度应该要求在25~40 μm之间。

为弥补这方面的不足，有一个有效的做法是将过孔完全充填。可以采用焊锡或绿油充填，对于充填工艺，在尺寸设计上也有具体的要求。设计人员应该要求PCB制造商了解他们的个别需求。对于采用焊锡充填的，应避免不完整的充填，因为这样有可能使应力更集中而缩短寿命。由于过孔具有吸锡的能力，因此孔的位置设计应该尽量避免太靠近焊盘和看不见的元器件封装底部。

过孔的主要作用是实现PCB各层之间的电气互连。由于现代安装密度大幅度提高，PCB不断地向多层化发展，因此过孔的作用越来越重要，数量也在不断增多。在设计时不允许将过孔设置在焊盘区内，以避免软钎接中钎料流失；应尽力避免将过孔设置在SMC/SMD元器件体的下面，以防钎接中钎料流失和截留助焊剂和污物而无法清除。此外，过孔与电源线或地线相连时应采用宽度不大于0.25mm的细径导线连接，细径线长度应不小于过孔0.5mm。

12. 生产测试设计

测试虽然本意是用来确保产品是合格的，但应用不当却会影响产品的寿命，所以在设计时不得不小心加以考虑。测试用的探针对产品不利，但很多时候我们还是得使用它。尤其是在ICT(在线测试)上使用得较多。飞针测试对产品的破坏危险性较小，但目前的速度还不理想。在使用针床夹具时，因为探针的数目可能相当可观，而每一探针都需要一定的力度来确保可靠的电气接触性，压力很大。如果加上压力的分布不均等问题，有可能给测试中的产品造成内在的损坏，缩短其使用寿命。为了减少这方面的破坏，应该在设计测试点时使其均匀分布，采用虚设测试点，采用正反而平衡测试点或足够的支撑，等等。

虽然占用面积，但应该尽量采用个别的测试点而不是采用元器件焊盘或引脚作为测试点。在密度较大的组装板上可以考虑使用过孔兼作测试点的做法以及双面测试。

测试点的大小应依夹具和探针的精度而定，采用压缩距离较短的探针有利于精度的提升。测试点可以考虑用方形来取代一般的圆形，以增加接触的可靠性。如果精度不是问题，也可以考虑用六边或八边形的测试点，以方便辨认区别。由于测试点不能有绿油覆盖，应注意它们对周围焊盘影响。测试点的布置最好是采用标准的栅阵排列，即坐标间距跟随一定的标准，这样可以方便日后测点的改变和针床夹具的重复使用或修改。

SMC/SMD的电极和引线不推荐直接作为测试点，以避免造成元器件的潜在损伤。对关键部位所设置的测试焊盘应与元器件的安装焊盘分开。对测试焊盘的基本要求为：测试焊盘应放在PCB坐标网格的交点上，并以布线图的基准标志为基准点；测试焊盘可用方形盘与通孔盘或元器件安装焊盘相区别；不允许用通孔或金属化孔作测试点，因为测试探针可能损坏孔壁与焊盘的交界面而导致断续性通断故障；大型元器件的四周要留出一定的维修空隙，以使返修设备的头部能方便地接近它。



13. 机械装配设计

装配设计应尽量避免用一些需要机器压力的零部件,如导线别针、铆钉等,除了安装速度慢以外,这些部件还可能损坏线路板,而且它们的维护性也很低。应尽量减少板上使用元器件的种类,如两个元器件的值很相似,但公差不同,则优选公差较低的那一个,如使用相同的螺钉固定板上各种散热器等;应避免使用卡扣安装较小的座架和散热器,因为这样安装速度很慢且需要工具;应尽量使用套管、塑料快接铆钉、双面热带或者利用焊点进行机械连接。

14. 散热设计

产品寿命是另一在设计上应该注重的地方,由于产品在服务期内会受到各种不同的环境压力(如热变化、机械振动等),产品设计必须确保能经得起使用环境中遇上的各种应力。另一个要照顾到的是制造方面,可制造性和寿命有什么关系?设计得非常难组装的产品,其使用寿命也不会很长,而制造工艺上的小变化常常也会缩短其使用寿命。举个例子,一个散热设计做得不好的产品,其制造过程中所受到的焊接热冲击会比较大,使得焊点的可靠性得不到保证,从而影响产品的寿命。

影响寿命的因素很多,可分为主要因素和次要因素两大类。主要因素,如元器件引脚种类、元器件的尺寸大小、元器件的使用温度和耐热冲击特性、元器件和基本材料的匹配等,这些对寿命的影响较明显严重;次要因素虽然影响不很明显,但几个次要因素的作用叠加起来,其整体影响也比较大。这方面的例子,如焊点的形状、产品的三防涂覆涂层、基板的外形比等。在影响产品寿命的种种因素之中,热设计的考虑应该算是 SMT 应用中比较重要的。因为在 SMT 应用上,许多和寿命有关的问题都是和热设计有关的。它同时也是影响可制造性的重要因素,所以在热问题的考虑上,用户应该同时兼顾到制造工艺和产品寿命。另外一个值得热设计关注的原因,是绝大多数使用在电子产品上的材料,其性能都会随温度的变化(即关系到热设计)而发生变化的,轻则性能不稳定,重则可能失效(暂时性)或甚至被损坏(永久性)。

SMT 在设计应用上很有学问。原因之一是 SMT 技术在组装密度上不断增加,而在元器件体形上不断缩小,造成单位体积内的热量不断提高。原因是 SMT 的元器件和组装结构,对因尺寸变化引起的应力消除或分散能力不佳,造成对热变化引起的问题特别严重。常见的故障是经过一定时间的热循环后(环境温度和内部电功率温度),焊点发生断裂的现象。

在设计时考虑热处理问题有两方面一是半导体本身界面的温度,二是焊点界面的温度。在分析热性能时,有两大注意方面:一是温度的变化幅度和速率;二是处在高低温下的时间。前者关系到和温差有关的故障,如热应力断裂等;而后者关系到和时间长短有关的故障,如蠕变之类。由于它们的影响是不同的,所以故障分析时都要个别测试和分析。

因为受热而危害产品的其中一种方式是热冲击。产品在其使用期间,尤其是在组装过程中的热冲击(来自焊接和老化),如果处理不当,将会大大影响其质量和寿命。这种热冲击,由于来得较快,即使材料在温度系数上完全配合也会因温差而造成问题。除了制造上的热冲击,产品在服务期间也会经历程度不同的热冲击,比如汽车电子元器件在寒冷天气下启动时



升温等。所以一件产品在其寿命期间,将会面对制造、使用环境(包括库存和运输)和本身的电功率耗损三方面的热磨损。

为确保寿命而努力的热设计考虑工作,对于半导体或元器件供应商、设计和组装工厂、元器件产品的用户各方面都有责任。元器件供应商的责任在于确保良好的封装设计,使用优良的封装材料和工艺,并提供完整有用的设计数据给他的用户(即产品设计和组装工厂);产品设计和组装工厂的责任在于设计时的热处理考虑,正确和足够散热的采用,以及正确的组装工艺应用和管制;至于产品用户应根据供应商建议的使用方法来使用、维护和保养产品。

从 THT(插件技术)到 SMT 的转变中,元器件的体形缩小了,产品的组装密度增加了,元器件底部和基本间的距离缩短了,这些都导致通过对流和辐射散热功效的减低,而通过基板的传导来散热就更重要了(虽然基板因密度增加也造成传导散热效率的不良)。在元器件封装技术上,表面贴装 IC 方面的设计通过不同引脚材料的选用和内部引脚底盘的尺寸设计而大有改善(较插件 DIP 的效果好),但这种改进很多时候还应付不了组装密度的增加、元器件的微型化和信号速度快速增加等方面发展连带的散热问题。

热失配的问题,除了材料外,也和元器件封装的大小有关。比如 2220^[1]的矩形件在这方面的寿命就比 1206^[1]来得短,而 LCCC156^[2]也会比 LCCC16^[2]的寿命短许多。

很多时候,单靠正确的材料选择和设计还是不足以完全解决散热的问题。因此额外的散热设计就必须被用上。一般配合基板材料的选用和设计(如金属内夹板),使热能通过基板传导扩散到基板外,一般传到板边的金属支架或机壳上。散热能力可以达到 250 kW/m^3 (自然对流的 20 倍)。

思考题 3

- (1) 什么是印制电路板?其作用是什么?
- (2) 印制电路板发展经历了哪些过程?
- (3) 按结构分,印制电路板分几类?
- (4) 请简述印制电路板结构组成。
- (5) 请画出普通多层刚性印制电路板的加工流程。
- (6) 常见的印制电路板焊盘表面处理有哪些?各有哪些优缺点?
- (7) 电子装联过程厂家的 PCB 缺陷有哪些?
- (8) PCB 在焊接过程中出现白斑和气泡是如何造成的?
- (9) PCB 为什么要考虑可制造性设计?需要考虑哪些内容?

[1] Chip 类器件的封装尺寸,编号越大表示外形尺寸越大,具体可参考元器件相关书籍。


[2] LCCC 是 Leadless Ceramic Chip Carrier 的缩写,数字表示引脚数的多少。


第4章 电子装联用辅料




本章要点

 概述

 钎料

 电子装联用助焊剂

 再流焊接用焊膏

 电子胶水

 其他类电子装联辅料

4.1 概 述

4.1.1 电子装联用辅料的作用

电子装联用辅料是指电子产品装联生产过程中，因工艺需要所采用的辅助性材料，在电子装联过程中，起着焊接、粘接、清洗、密封、涂覆、散热、填充、固定等作用。

4.1.2 电子装联用辅料的构成

电子装联用辅料按应用类型可分为以下几类。

(1) 焊接材料：主要包括焊膏、焊料条、焊料丝、助焊剂、焊料片等。

(2) 胶水类：按用途又可分为结构类胶水、导热类胶水、防护类胶水。结构类胶水包括：贴片红胶、磁芯黑胶、黏结硅胶、元器件固定胶、加固硅胶、密封胶、灌密封胶、瞬干胶、螺纹胶、热熔胶和底部填充胶；导热类胶水包括：导热胶、导热灌密封胶、双组分导热胶、导热硅脂和导热胶黏剂；保护类胶水包括：三防漆、灌密封胶、防撞胶等。也有一些胶水有多方面的作用，既有结构胶的作用，也起到防护的作用，比如灌密封胶和密封胶。

(3) 清洗类：按用途又可分为单板清洗剂、钢网清洗剂、工装清洗剂等。

(4) 胶纸类：按用途又可分为标签纸、美纹纸、耐高温胶纸、金手指胶纸等。

4.2 钎 料

4.2.1 钎料的定义和分类

为实现两种金属材料（或零件）的牢固结合，在其间隙内或间隙旁所加的金属填充物，称为钎料。

钎料的熔点必须比焊接的材料熔点低。钎料按熔点高低分为软钎料（熔点低于 450°C 的钎料）、硬钎料（熔点高于 450°C 的钎料）。电子装联所用的钎料主要是软钎料，即锡基钎料，根据钎料的成分可分为锡铅钎料、锡银钎料、锡铜钎料、锡银铜钎料、锡铋钎料等，而根据是否含铅，又可分为有铅钎料和无铅钎料。

4.2.2 锡铅钎料的特性和应用

1. 采用锡-铅二元合金作为钎料的主要原因

锡铅钎料是以锡和铅为主要成分的钎料。截至目前，在有铅焊接中使用的钎料几乎都是



锡-铅二元合金。在电子产品有铅装联工艺中，广泛采用锡-铅二元合金作为钎料的主要原因如下所述。

- (1) 融化温度范围小（即糊状区窄），非常适合工程应用需要。
- (2) 润湿性和机械、物理性能尚可。
- (3) 成本低、经济性较好。

相图是分析平衡状态下各种不同成分合金系在不同温度下的各种不同相之间的相互关系，以及理解合金系的理论基础，锡-铅二元合金的相图如图 4.1 所示。

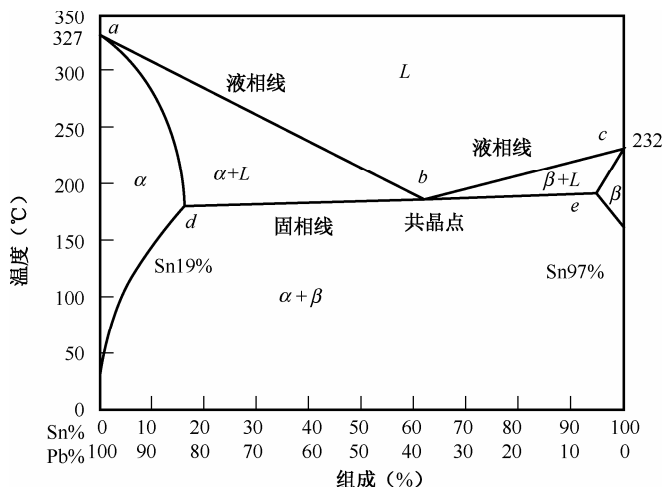


图 4.1 锡-铅二元合金相图

2. 锡-铅二元合金作为钎料的优良特性

锡铅钎料中的锡，在焊接过程中会因为冶金反应而与基体金属形成合金，而铅则在任何条件下都几乎不起反应。然而在锡中加入铅将其作为钎料的一种成分，就可以使钎料获得锡和铅都不具备的下述优良特性。

1) 降低熔点，便于操作

锡的熔点是 232℃，铅的熔点为 327℃，如将锡铅两种金属混合，就可以获得比两种金属熔点都低的钎料（共晶点合金的熔化温度为 183℃）。因其熔点低，所以操作时比较方便，另外对元器件和 PCB 的热冲击比较小。

2) 改善力学性能

锡的拉伸强度为 1.5 kg/mm²，剪切强度约为 2 kg/mm²。铅的拉伸强度约为 1.4 kg/mm²，剪切强度约为 1.4 kg/mm²。如果将两者混合起来制成钎料后，拉伸强度可达 4~5 kg/mm²，剪切强度约为 3~3.5 kg/mm²。焊接后，这个值会变得更大，从而力学性能得到改善。

3) 降低界面张力

液态钎料的扩散性（即润湿性）会因表面张力及黏性的下降而得到改善，而铅的加入降



低液态锡的界面张力,改善了流动性有利于对基体金属的润湿。

4) 抗氧化性

将铅掺入锡中,就可以增加钎料的抗氧化能力,减少钎料在高温时的氧化量,即有利于润湿,也降低了钎料消耗。

4.2.3 无铅钎料的特性和应用

由于锡铅钎料中的铅对环境和人体的危害,目前各个国家都在推广无铅钎料,无铅钎料代替有铅钎料是软钎焊发展的必然趋势。目前业界常用无铅钎料有锡-银二元合金和锡-铜二元合金两类。

1. 锡-银二元合金

当组分 Sn-3.5Ag 时形成共晶合金,熔点为 221℃。

2. 锡-铜二元合金

Sn-Cu 系合金的结构比较复杂,在 Cu 侧形成了复杂的多个金属间化合物,而当 Sn 含量大于 60%时,可见类似于共晶的合金。当成分为 Sn-0.7Cu 时可构成共晶组分,其金相组织形式为 Sn-Cu₆Sn₅ 的二元合金,共晶点温度为 227℃,这在无铅钎料中属于熔点比较高的合金类,在组装中焊接温度要超过 250℃,故不适合用做再流焊接。由于其不含银,故而价格比较低,多用在比较简单的 PCB 的低端产品的波峰焊焊接中。尽管 Sn-Cu 合金可以节约一部分成本,但它也有以下几个问题需要考虑。

(1) 熔点 227℃,比 SAC305 高了约 9℃,因此在许多温度敏感场合下,其应用受到限制。

(2) 与其他无铅钎料合金相比,这种合金润湿性较差,在很多时候要求使用氮气和活性较强的助焊剂。

(3) Sn-Cu 合金毛细作用能力很低,难以吸入 PTH 孔中,因此波峰焊焊接时容易出现透孔不良,同时它缺乏表面安装组件所需要的抗疲劳性,很差的疲劳性会引起现场失效,可能会完全抵消廉价带来的初期成本的节约。

3. Sn-Ag-Cu (简称 SAC) 钎料合金

在 Sn-Ag 合金中添加 Cu,不仅保持了 Sn-Ag 合金的优良的力学性能,使其熔点降低,而且还减弱了在焊接过程中由于铜的溶蚀而造成的恶劣影响。

Ag 和 Cu 在合金设计中的配比,对获得合金的热力学性能是非常关键的,例如当 Cu 含量为 0.5wt%时,Ag 含量在 (3.0~3.5) wt%之间变化,其温度特性的变化并不很敏感。

对于 PCBA 装联来说,NEMI、JEITA、IDEALS、NCMS 等组织以及钎料供应商已经证明了 SAC 合金是近、中期推行无铅生产工艺最理想的无铅钎料合金,理由如下:

(1) SAC 不含 Bi,不会与铅形成低熔点相造成焊点可靠性问题。

(2) SAC 的熔点相对较低,当 SAC 合金中 Ag 含量低于 5.35%及 Cu 低于 2.3%时,液



固相温差将低于 3°C ，最理想的 SAC 合金熔点为 217°C 。

(3) SAC 只有三种成分。当合金中成分种类变多时，就容易产生杂质的问题，制造起来比较困难，批量生产时熔点或液、固相温差会变得难以控制。

4.2.4 钎料中的杂质及其影响

无论是有铅钎料还是无铅钎料的波峰焊焊接，钎料槽中的杂质污染的来源，主要是从浸入钎料槽中的被焊基体金属（元器件引脚及 PCB 焊盘）上溶入的，这意味着在波峰焊焊接中，只有有限的几种元素（Cu、Ag 和 Au）能够溶于钎料槽的钎料中。

杂质的危害主要有以下几点。

1) 对有铅钎料的危害

元素 Cu、Ag 和 Au 对有铅钎料波峰焊焊接均属杂质金属，它们对波峰焊焊接效果影响极大，含量超标时对焊点性能的主要影响如下。

(1) Cu: Cu 与 Sn 可生成 Cu_3Sn 、 Cu_6Sn_5 两种金属间化合物，使液态钎料呈砂性且流动性变差，焊点变脆。

(2) Ag: Ag 和 Sn 可生成 AgSn 和 Ag_3Sn 两种金属间化合物，使钎料呈砂性和被焊表面出现小疙瘩，焊点失去自然光泽并出现白色颗粒状物。

(3) Au: Au 与 Pb 生成 Au_2Pb 和 AuPb_2 金属间化合物，与 Sn 生成 Au_6Sn 、AuSn、 AuSn_3 和 AuSn_4 等金属间化合物。很快使焊点变脆并形成暗色的颗粒状轮廓线。

(4) 金和铜起复合作用会很快破坏整个钎料槽中的钎料性能。

对钎料合金有害的污染物还有铁、铝、镁、镉和锌等。特别是锌，它是一种最有害的污染物，即使含量少到 0.005% 也会引起砂砾状、缺少附着力，甚至使焊点完全破坏，导致整槽钎料报废。

钎料槽中的钎料合金纯度对焊点质量和一致性影响极大。因此，为了获得好的质量和经济性，第一次向钎料槽中加注钎料时应选用纯度最高的钎料。针对波峰焊焊接钎料的污染水平规定的一个粗略的指导原则，参见表 4.1。

表 4.1 波峰焊焊接用 Sn63Pb37 按质量百分数表示的污染水平

元 素	典型分析数据 (wt%)		经验观测数据 (wt%)	
	原生钎料中的含量	ASTM 或 QQ-S-571 规定的最高含量	记录中出现质量问题的杂质含量	建议更换钎料的含量
Cu	0.002~0.020	0.080	0.200~0.500	0.300~0.350
Au	0.001	0.080	0.080~0.300	0.100~0.200
Pb	0.005	0.005	0.005~0.010	0.005
Cd	0.001	0.001	0.008~0.020	0.001~0.005
Zn	0.005	0.005	0.005~0.020	0.005

2) 对无铅钎料的危害

目前在无铅波峰焊焊接中所用钎料最常用的是 SAC (Sn-Ag-Cu)、Sn-Cu 等合金。因此，

除杂质元素 Au 外, 此时 Ag、Cu 均为主要构成成分而不能称作杂质。在应用中不是如何除掉它, 而是如何控制其在正常的成分范围内不要超标。例如,

① 当 Cu 的成分超过 1.5wt% 时: 整体合金的塑性在 Cu 成分为(0.5~1.5)wt% 范围内是较高的, 然后随着 Cu 的进一步增加而降低, 当 Cu 的成分超过 1.5wt% 时, 屈服强度会降低, 抗拉强度保持稳定。

② 对于 Cu 含量为(0.5~0.7)wt% 的 SAC 合金, Ag 从 3.0wt% 增加到更高的水平(如 4.7wt%) 时, 将增加 Ag₃Sn 粒子的体积比例, 从而得到更高的强度, 但不会再增加疲劳寿命。表 4.2 是 SAC305 无铅钎料合金的成分及污染的最大容限值。

表 4.2 SAC305 无铅钎料合金的成分及污染的最大容限 (wt%)

元 素	Sn	Ag	Cu	Pb	Sb	Bi	Zn	Fe	Au	Al	As	Cd
含量 (wt%)	余量	3.00	0.50	0.030	0.01	0.01	0.001	0.002	0.080	0.001	0.010	0.001
最大容限 (wt%)	余量	3.50	1.50	0.100	0.1 (0.05)	0.10	0.001	0.020	0.200	0.010	0.030	0.002

4.2.5 钎料的评估和选择

要评估和选择一种新的钎料合金是十分复杂的, 要考虑的方面很多, 比如力学性能、热疲劳性、熔点、润湿性及其他工艺中使用的问题, IPC/EIA J-STD-006A 也给出了钎料合金的要求, 可以根据标准的要求和测试方法进行评估。

对于工厂来讲, 并不直接选用钎料合金, 而是选择焊料条、焊料丝、焊膏等含有钎料合金的焊接辅料。对于焊料条主要评估其外观和尺寸、化学成分和润湿性。对于焊料丝等树脂芯及预涂助焊剂的合金, 除了评估其尺寸、化学成分和润湿性外, 还要评估树脂芯助焊剂含量和助焊剂的均匀连续性。

4.3 电子装联用助焊剂

4.3.1 助焊剂的分类

助焊剂有多种不同的分类方法, 概括如下。

1. 按助焊剂的物理状态分类

- (1) 膏状助焊剂——BGA 返修助焊膏。
- (2) 固态助焊剂——焊锡丝中助焊剂。
- (3) 液态助焊剂——波峰焊用助焊剂。

2. 按固体含量分类

助焊剂按固含量分类情况参见表 4.3。



表 4.3 助焊剂分类表（固含量）

类 型	固 含 量 (%)	用 途
低固含量	<2~3	免清洗焊接
中固含量	5~10	通用电子产品
高固含量	>15	民用电子产品

4.3.2 按助焊剂活性分类

助焊剂按助焊活性可分为四类，参见表 4.4。

表 4.4 助焊剂按助焊剂活性分类表

类 型	固 含 量 (%)	用 途
低活性	R	用于较高级别电子产品，可实现免清洗
中等活性	RMA	民用电子产品
高活性	RA	可焊性差的元器件
特别活性	RSA	元器件

4.3.3 按JST-D-004 分类

- (1) L0——低活性助焊剂，卤素含量 0%——R、某些 RMA。
- (2) L1——低活性助焊剂，卤素含量<0.5%——大多数 RMA、某些 RA。
- (3) M0——中等活性助焊剂，卤素含量 0%——某些 RA。
- (4) M1——中等活性助焊剂，卤素含量<0.5%——大多数 RA。
- (5) H0——高等活性助焊剂，卤素含量 0%——某些水溶性焊剂。
- (6) H1——高等活性助焊剂，卤素含量<0.5%——RSA、大多数水溶性焊剂。

4.3.4 助焊剂的作用及作用机理

一般情况下，被焊金属和易熔的钎料合金表面均具有一层妨碍形成连接界面的薄锈膜。该锈膜是受环境侵蚀的结果，并因环境和被焊金属的不同，而可能由氧化物、硫化物、碳化物或其他腐蚀产物组成。这些非金属腐蚀产物的作用相当于阻挡层。因此，在钎接前必须将其清除掉。在焊接过程中，助焊剂所起的作用概括起来主要功能介绍如下。

1. 除去被焊基体金属表面的锈膜

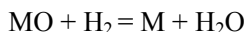
在被焊金属表面的锈膜通常不溶于任何溶液，不能像清除油脂那样将其除掉，但是这些锈膜与某些材料发生化学反应，生成能溶于液态助焊剂的化合物，就可除去锈膜达到净化被焊金属表面的目的。这种化学反应可以是使助焊剂与锈膜生成溶于助焊剂或助焊剂溶剂的另一种化合物，也可以是把金属锈膜还原为纯净金属表面的化学反应。

属于第一种化学反应的助焊剂主要以松香基助焊剂为代表。纯净松香主要由松香酸和其他同分异构双萜酸组成。用作助焊剂时，通常用酒精（异丙醇）作为溶液，当在氧化了的铜



表面上涂上该助焊剂并加热时,松香酸与氧化铜化合生成松香酸铜,它易于和没有反应的松香混合在一起,从而为钎料的润湿提供了洁净的金属表面。松香酸对氧化铜层下面的基体铜没有任何侵蚀作用。当借助于有机溶剂清除残留的助焊剂时,松香酸铜也一起被清除掉了。

作为第二种化学反应的例子是某些具有还原性气体。例如,氢气在高温下能还原金属表面的氧化物,生成水并恢复纯净的金属表面。其化学反应通式可表示为



2. 防止加热过程中被焊金属的二次氧化

波峰焊焊接时,随着温度的升高,金属表面的再氧化现象也会加剧。因此,助焊剂必须为已净化的金属表面提供保护,即助焊剂应在整个金属表面形成一层薄膜,包住金属,使其同空气隔绝,达到在钎接的加热过程中防止被焊金属二次氧化的作用。

3. 降低液态钎料的表面张力

钎接区域中的助焊剂,能够以促进钎料漫流的方式影响表面能量平衡。降低液态钎料的表面张力,减小接触角。

金属表面存在氧化层时,液态钎料往往凝聚成球状,不与金属发生润湿。氧化物对钎料润湿的有害作用,是由于存在着氧化物的金属表面的张力比金属本身的表面张力要低得多。如图 4.2 所示, $\gamma_{\text{SF}} > \gamma_{\text{LF}}$ 是液体润湿固体的基本条件。覆盖着氧化膜的固体金属表面比起无氧化膜的洁净表面,表面张力显著减小,致使 $\gamma_{\text{SF}} < \gamma_{\text{LF}}$ 而出现不润湿现象。

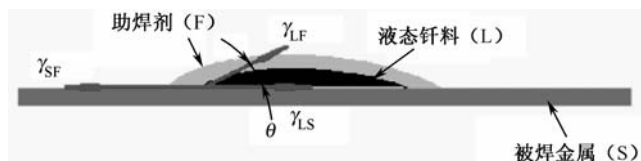


图 4.2 钎料表面界面张力示意图

4. 传热

一般被钎接的接头部都存在不少间隙,在钎接过程中,这些间隙中的空气起着隔热的作用,从而导致传热不良。如果这些间隙被助焊剂填满,则可加速热量的传递,迅速达到热平衡。

5. 促进液态钎料的漫流

经过预热后的粘状助焊剂与波峰钎料接触后,活性剧增,黏度急剧下降而在被焊金属表面形成第二次漫流,并迅速在被焊金属表面铺展开来。助焊剂第二次漫流过程所形成的漫流作用力,附加在液态钎料上从而拖动了液态金属的漫流过程,如图 4.3 所示。

助焊剂的作用机理与助焊剂类型有关,下面以业界应用最广泛的免清洗助焊为例说明助焊剂的作用机理。免清洗助焊剂在波峰焊焊接中的作用机理按如图 4.4 所示划分的功能区进行说明。

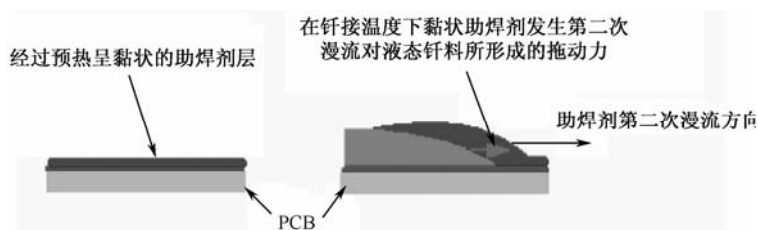


图 4.3 助焊剂第二次漫流对液态钎料的拖拽作用

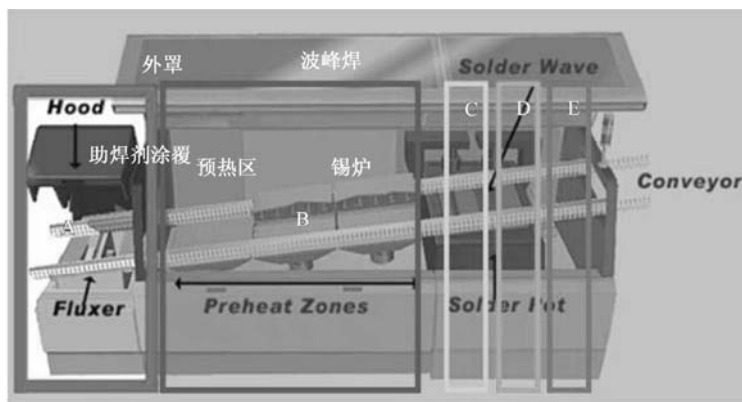


图 4.4 助焊剂作用功能区示意图

助焊剂在波峰焊接中的作用可分为五个区。A 区是助焊剂涂覆区，从功能上说是助焊剂成膜区，在 A 区，因温度较低，活性剂被树脂包裹，对外表现的活性很弱，助焊剂中的溶剂改善了助焊剂在涂覆过程中的流动性以使助焊剂涂覆均匀。B 区是预热区，活性物质由溶剂携带流布在 PCB 焊接面上，当低沸点溶剂挥发后，剩下的高沸点溶剂继续包裹 PCB 表面形成的活性物质和 PCB 保护膜，随着预热温度的升高，活性物质逐渐趋近于活化温度。C 区是单板切入钎料波区域，随着温度的急剧升高，树脂破裂后，释放出活性物质净化被焊金属表面，达到润湿的目的。D 区是热交换区，在 D 区，温度升高到焊接温度后活性剂分解，只要此区所经历的时间足够，活性剂就能分解殆尽，最后留下一部分残留的高沸点溶剂覆盖在 PCB 表面。E 区是剥离区，在 E 区单板脱离波峰，残余的高沸点溶剂覆盖剥离区钎料表面隔绝了空气，降低了剥离区钎料的表面张力，有利于消除钎料和拉尖，最后残余的高沸点溶剂随钎料流入钎料槽挥发。

免清洗助焊剂的工艺温度规范比较严格，只有充分满足了其特性要求的条件下，才能充分发挥其助焊作用。因此，供货方必须提供完整的温度应用特性。例如，比利时 Interflux Electronics 公司生产的 IF 2005M 免清洗助焊剂就给出了完整的应用温度规范值：

- (1) 预热温度——95~130℃（元器件面）。
- (2) 钎料槽温度——最低温度为 235℃，正常温度为 250℃，最高温度为 275℃。
- (3) PCB 与熔化钎料接触时间应为 4s。

在现代电子设备的软钎接（手工焊、波峰焊和再流焊）中，助焊剂从头到尾都扮演了一个非常关键的角色。通过上述对波峰焊焊接过程的描述，足以证明在软钎接工艺中如何强调助焊剂的重要性都是不过分的。

4.3.5 在焊接中如何评估和选择助焊剂

助焊剂性能的好坏通常是采用以下两方面的作用能力来描述的。

1. 活性

为了有效地进行软钎接，助焊剂必须通过化学反应来净化被焊金属表面，只有在充分净化后的表面，被焊金属和熔化钎料之间才能形成有效的冶金连接，才可根除虚焊等缺陷。因此，在评价助焊剂时活性是必须要充分关注的。

2. 保护功能

在上述分析中可见助焊剂在波峰焊焊接过程中的另一个极为重要的作用是助焊剂的保护功能。保护功能的实现在松香型助焊剂中是通过松香这一媒介来实现的，而在免清洗助焊剂中则是通过高沸溶剂这一媒质来贯彻始终的。免清洗助焊剂中保护功能的强弱对波峰焊接的成败关系很大，而且该功能必须通过上机运行才能考查出来。

从化学角度看，每一种有效的助焊剂均必然在某种程度上具有腐蚀性，否则，它就不能从被焊表面清洗掉氧化膜。我们所说的腐蚀性，关注的是在完成钎接后在装配件上残留的助焊剂及其残余物的化学危险性，并由此而确定助焊剂的理化指标要求。助焊剂常见理化指标参见表 4.5。

表 4.5 助焊剂常见理化指标

序 号	项 目	指 标 要 求
1	外观	无色或淡黄色透明液体
2	气味	无刺激性气味
3	固体含量 (wt%)	≤2%
4	卤素含量	≤0.01%
5	密度 (g/cm ³ 20℃)	0.800~0.820
6	pH 值	4~7
7	扩展率	>80%
8	结晶物或沉淀物	无
9	铜镜试验	符合国家相关标准
10	表面绝缘电阻 (Ω-cm)	≥1×10 ¹¹

助焊剂试验内容和对应的试验方法参见表 4.6。

表 4.6 助焊剂试验内容和方法

试 验 内 容			试 验 方 法	
			对应 J-STD-004 条款	对应 IPC-TM-650 条款
铜镜腐蚀			3.2.5.1	2.3.32
卤化物	定性	铬酸银	3.2.2.2.1	2.2.33
		氟圆点	3.2.5.2.2	2.3.35.1



续表

试 验 内 容			试 验 方 法	
			对应 J-STD-004 条款	对应 IPC-TM-650 条款
卤化物	定量	氯化物、溴化物	3.2.5.3.1	2.3.35 或 2.3.28
		氟化物	3.2.5.3.2	2.3.35.2 或 2.3.28
不挥发物			3.2.5.3.3	2.3.34
腐蚀			3.2.5.4	2.5.15
SIR			3.2.5.5	2.5.3.3
酸值			3.2.5.1	2.3.13
铺展测试、液态助焊剂			3.2.7.2	2.5.46
润湿平衡			3.2.7.1	2.5.15.2
助焊剂密度			3.2.5.2	
助焊膏黏度			3.2.5.3	2.5.35.4
外观			3.2.5.4	
菌类			3.2.5.6	2.5.1

助焊剂是电子装联焊接过程中必不可少的辅料，在波峰焊焊接中助焊剂和钎料是分开使用的。波峰焊焊接效果的好坏除了与焊接工艺、元器件和 PCB 的质量有关外，助焊剂的选择是十分重要的，活性良好的助焊剂应具备如下特性：

- ① 化学活性满足应用要求（能有效除去基体金属和钎料表面的氧化膜）。
- ② 对基体金属助焊剂自身的润湿性和漫流性要好。
- ③ 所用活性剂的熔点比钎料低，要先于钎料熔化前熔化，才能充分发挥助焊剂的作用。
- ④ 浸润扩散速度比熔化钎料快，通常要求扩展 $\geq 90\%$ 。
- ⑤ 黏度和密度要小，黏度大会使浸润和扩散困难，密度大就不易充分覆盖钎料表面。
- ⑥ 热稳定性好，在常温下储存稳定。
- ⑦ 焊接时不产生焊珠飞溅，也不产生毒气和强烈的刺激性气味。
- ⑧ 助焊剂反应迅速。
- ⑨ 焊后残渣易于去除，并具有不腐蚀、不吸湿和不导电等特性。

⑩ 焊接后不粘手，在长期使用中不会导致波峰焊焊接设备的传动、磨损增大，甚至导致设备夹送失速或损坏。

4.4 再流焊接用焊膏

4.4.1 定义和特性

焊膏是一种均质混合物，它由一定比例的焊料合金金属粉、糊状助焊剂和一些添加剂混合而成的具有一定黏性和良好触变性的膏状体。在常温下，焊膏可将电子元器件粘贴在既定位置，当被加热到一定温度时随着溶剂和部分添加剂的挥发、合金粉的熔化，而使被焊元器件端子和焊盘连接在一起，形成永久的连接焊点。焊膏的主要成分及作用，概括起来如表 4.7 所示。



表 4.7 焊膏的主要成分及作用

主要成分		作用	材料名
钎料合金粉		基体金属接合用	球形钎料合金粉
糊状助焊剂	基材	具有固定元器件的必要的黏着性和净化焊接表面的作用	松香、松香脂
	活性剂	净化焊接表面	如胺、氨基酸盐等
	触变剂	防止钎料合金粉和助焊剂的分离并赋予焊膏以触变性	氢化蓖麻油、巴西棕榈蜡
	溶剂	调整焊膏使其具有适当的黏度	乙二醇、甘醇等

焊膏中钎料合金粉与糊状助焊剂的通用配比，如表 4.8 所示。

表 4.8 焊膏中合金粉与糊状助焊剂配比

成分	质量比%	体积比%
钎料合金粉	85~90	50~60
糊状助焊剂	10~15	40~50

4.4.2 焊膏中常用的钎料合金成分及其种类

钎料合金是焊膏的主要成分，是影响焊膏质量的重要因素。钎料合金成分决定了 SMT 组件再流焊焊接温度曲线的峰值温度。

根据所用钎料合金的成分不同，可以将焊膏划分为有铅类焊膏和无铅类焊膏两大类，其常用合金成分介绍如下。

1. 有铅焊膏中常用的钎料合金粉成分

- (1) Sn37Pb。
- (2) Sn36Pb2Ag。

2. 无铅焊膏中常用的钎料合金粉成分

- (1) Sn-3Ag-0.5Cu。
- (2) Sn-3.8Ag-0.7Cu。
- (3) Sn-4Ag-0.5Cu。

4.4.3 焊膏中糊状助焊剂各组成部分的作用及作用机理

焊膏中糊状助焊剂的基本成分参见表 4.7。糊状助焊剂是钎料粉的载体，良好的糊状助焊剂应具备以下条件：

- 高沸点，以防止膏状钎料在再流焊过重出现溅射。
- 高黏稠性，以防止膏状钎料在存放过程中出现沉降。
- 低卤素含量，以防止再流焊接后腐蚀元器件。
- 低吸湿性，以防止膏状钎料在使用过程吸收空气中的水蒸气而引起钎料粉氧化。



糊状助焊剂在再流焊过程中的扩展能力的强弱,取决于松香混合物、增稠剂、活性剂。最终配制而成的膏状钎料质量的优劣,通常可用流变性、坍塌、黏力曲线、再流焊温度曲线等来描述。糊状助焊剂各组成成分的作用及作用机理介绍如下。

1. 基体材料

焊膏助焊剂中所用的基体材料的主要作用是:

- 和溶剂配合,使焊膏具有一定的黏着性,以保持元器件在贴装后的机械位置不变。
- 基体材料与溶剂及触变剂等共同作用,确保焊膏的良好的印刷性。
- 基体材料是钎料合金粉的载体,同时它对被焊表面也有一定的洁净作用。

常用来做基体材料的有天然松香、改性松香和人造树脂等,它们构成了焊膏中活性剂系统的一部分,一旦树脂软化,就能够在被焊金属表面蔓延开。溶解在熔融树脂中额外加入的活性物质,就能够到达任何流过的地方。这时,溶入松香中的活性助焊剂将于钎料合金粉表面的氧化物作用,为再流焊做洁净准备。

基体材料在助焊剂中按质量比约占 20%~30%,通常都使用松香。由于松香性能与品种、产地和生产工艺有关,其化学组成和性能存在较大差异。因此,对松香进行优选是保证助焊剂质量的关键。基体材料和活性剂的结合即可起到下述作用:

- 除去被焊基体金属表面的氧化膜。
- 防止加热过程中被焊基体金属的二次氧化。
- 降低液态钎料的表面张力。
- 传热。
- 促进液态钎料的漫流。

2. 活性物质

焊接过程中驱使熔融钎料能够沿被焊基体金属表面漫流,是取得可靠焊点的前提,而润湿又是漫流的先决条件。为使熔融钎料能充分润湿基体金属,必须预先清除焊接区域的氧化物和吸附的气体,使其达到纯金属间的相互接触。因此,助焊剂中的活性物质应在润湿前就完全清除基体金属表面的氧化物和吸附的气体层。

熔融钎料要在基体金属上润湿铺展,其先决条件是基体金属的表面能一定要高于熔融钎料,并且熔融钎料的表面能越低或者基体金属的表面能越高越有利于润湿过程。此时助焊剂将基体金属的表面能扩大,与适当的冶金反应共同作用,在达到焊接温度时能够显著地减少固、液、气三相间的表面张力,即减少其接触表面处的自由能,这就是助焊剂在润湿过程中所起的作用。总之,助焊剂中的活性物质,应具有能除去氧化膜的作用,也应具有能提高熔融钎料在基体金属表面漫流能力的物理活性。

3. 黏合剂

黏合剂的作用主要是黏合已贴装的元器件以及使印刷后的焊膏具有良好的保形性,即保持线条的棱角和完整性。

4. 触变剂

触变剂的作用是使焊膏具有良好的触变性，即在指定的剪切力和温度条件下，黏度会急剧下降，从而使焊膏能顺利的通过模板开口，并具有良好的脱模性；而在除去剪切力后，它又能恢复并保持焊膏较高的黏度。因此焊膏的印刷性在很大程度上是由焊膏中的触变剂决定的。

以上各种辅料混合决定了焊膏的黏度。黏度大的焊膏能形成良好的印刷形状，减少“塌陷”现象，但不容易通过模板，容易出现堵孔和拖丝现象，为以后的再流焊接产生虚焊、立碑等留下隐患，而且还容易产生锡珠、短路等缺陷。

5. 溶剂

溶剂在焊膏中主要起调节黏度的作用。焊膏中溶剂一般是多组分的，大多由不同沸点、极性的和非极性的溶剂混合而成，在 150~200℃ 高温下很快挥发，它既能使各种助焊剂溶解，又能使焊膏具有较高的储存寿命。

4.4.4 焊膏的应用特性

一个应用良好的焊膏所要求的应用特性如图 4.5 所示。

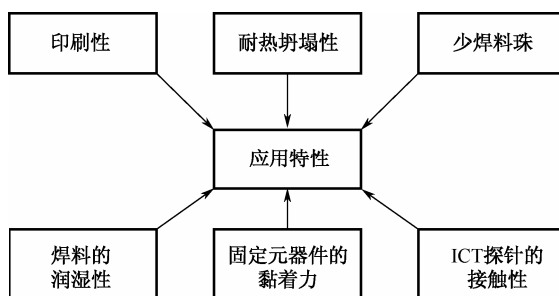


图 4.5 对焊膏特性的要求

在图 4.5 焊膏特性要求中，有些要求是相互矛盾的，如：为了保持较长时间的印刷性，就要使用高沸点溶剂，这样再流焊接时，就增加了钎料珠发生的危险性；为了获得良好的焊接性，就要增加助焊剂的活性，这就可能增加了焊接后残留物的腐蚀性而带来可靠性问题。因此在实际选用焊膏时，要充分了解焊膏的这些相互矛盾的特性要求的同时，结合产品的实际应用要求，综合平衡焊膏的性能，以达到良好的应用效果。

4.4.5 如何选择和评估焊膏

1. 选用焊膏时应注意的问题

1) 焊膏批次的一致性

对于焊膏，最重要的评估参数是焊膏的黏度、焊膏金属含量、合金粉颗粒尺寸分布情况等。选用焊膏时必须了解这些焊膏参数实际值和供应商所提供的规格范围情况，因为材料的



实际评估一般只会对供应商的一个批次进行,所以必须确认每个供应商是否有能力保证每批焊膏质量的一致性以及是否有足够的工艺管控能力和检测手段以确保焊膏质量的一致性。

2) 可靠性

最终所选的焊膏用在 PCB 上必须具有长期可靠性。最低要求是:所有的焊膏必须符合 IPC/J-STD-004 中的 SIR 标准和 GR-78 的电迁移要求,特别是无铅焊膏尤其如此。

2. 如何评估焊膏

1) 焊膏的流变性

焊膏中助焊剂和钎料合金之间的化学反应影响了焊膏的流变特性,而流变性对焊膏的印刷性能至关重要。因此,在选择焊膏时要做工艺试验,考察印刷性能能否满足实际的应用要求,焊接后质量如何。分析印刷时焊膏的滚动、填充、脱模等性能,间隔 1h 观察印刷质量有无变化,测试 1~8h 的黏度变化等,然后根据工艺试验结果选择适合自己产品和工艺要求的焊膏。

2) 焊膏的钢网寿命

任何焊膏开始放在钢网上时必须印刷良好,同样的焊膏在钢网上已经有几个小时后同样要求印刷性良好。随着时间的推移,若材料暴露在空气中,由于焊膏中溶剂的挥发,焊膏黏度会逐渐变高。基于此,测量焊膏黏度随时间的变化,将得到焊膏的实际钢网寿命。

3) 焊膏的“暂停响应”性能

通常在制造环境中,设备需要维修或贴片机需要停机喂料,会有最少 0.5h 的停机时间,这时要求焊膏性能不能下降。焊膏适应这种停机时间并保证停机后在印刷时性能良好的能力,被定义为“暂停响应”性能。

4) 焊膏的防“剪切力变小”性能

焊膏在印刷时具有“剪切力变小”(黏度降低)的特性。这一特性确保了焊膏能很好地填充钢网开口,印刷结束时,焊膏的黏度会恢复到原有值,在下次印刷中,黏度会再次降低,在连续印刷时,有些焊膏的黏度在印刷后不能恢复,这就意味着随着焊膏在钢网上的反复印刷,焊膏黏度将持续下降,最终可能导致在细间距印刷时产生坍塌和桥连现象。因此焊膏要具有防“剪切力变小”的性能。

5) 焊膏的黏附性

由于无铅焊膏和有铅焊膏的配方区别很大,所以需要确定无铅焊膏是否具有较好的黏附性或保持元器件贴装位置稳定性的能力。随着时间的延伸,焊膏性能的变化也会影响其保持元器件贴装位置的能力。在 IPC/J-STD-005 标准中,有测量焊膏黏附性的试验方法。



4.5 电子胶水

4.5.1 电子胶水的种类和特性

电子胶水类型多种多样，特性也各不相同。从用途上可以分为以下几类。

(1) 黏结类胶水：黏结类胶水的作用是将两个不同界面牢固地固定在一起。

(2) 导热类胶水：主要是将设备运行产生的热量传导出以降低设备的温度以保持设备的正常运行。

(3) 密封类胶水：密封类胶水主要是对设备腔体和元器件进行密封以降低环境因素对设备性能的影响。

(4) 填充固定类胶水：这类胶水的主要作用是通过胶水的填充实现对元器件或装配件的固定，增加零件的抗冲击震动性。

(5) 敷型涂覆胶水：这类胶水的主要作用覆盖在 PCBA 表面以减缓环境对单板性能的影响。虽然电子胶水的用途和种类各不相同，但是也存在以下共同的特性：

(1) 除了导电胶水，其他胶水一般都是绝缘的，并且在使用过程中也要求绝缘良好。

(2) 胶水在施工后要具有长期保持物理稳定性和化学稳定性的能力。

(3) 胶水在施工后都要经过一个固化的过程以实现胶水特定的性能。

4.5.2 电子胶水选择时应注意的问题

电子胶水大多是有机化学品，在选择时应注意以下问题。

(1) 应尽量选择溶剂含量少的、环保的、对人体伤害小的胶水。

(2) 应选择储存方便，对储存条件要求不高的胶水。

(3) 应选择施工方便，最好能进行自动施胶的胶水。

(4) 应选择容易返修胶水以利于不良板的返修。

(5) 应选择兼容性好的胶水，关注胶水与元器件、PCB、焊膏、助焊剂以及不同胶水之间的兼容性，防止因不兼容导致的失效。

(6) 胶水在施工过程中不能对设备造成负面影响，比如绝缘或耐压失效、设备腐蚀等。

(7) 选择胶水时要特别关注固化条件，选择固化条件简单和固化时间短的胶水。

(8) 有些胶水会影响到设备电性能，选择胶水时应找产品设计人员评估胶水对电性能的影响。

4.5.3 常用电子胶水

1. 贴片胶

贴片胶就是我们常说的红胶，一般是环氧树脂胶，在贴片前将胶水施加到 PCB 特定的位置以实现表贴器件的黏附和固定。贴片胶的施工方式有两种，一是通过点胶头点胶，二



是模板印刷施胶。

2. 三防涂覆胶

三防涂覆胶的主要作用是减缓环境中的物质对单板造成腐蚀，其中最主要的作用是防潮、防霉、防盐雾。三防涂覆胶有多种类型，常用三防涂覆胶有聚氨酯类、丙烯酸树脂类、有机硅类。

3. 导热胶

导热胶所起的作用是增加发热体和散热器之间热传导效率。导热胶分普通导热胶和耐高温导热胶，普通导热胶耐温为 85℃，耐高温导热胶耐温为 110℃。当芯片表面温度测试超过 85℃时，应选用耐高温导热胶。根据固化特性，导热胶分固化型和非固化型。固化型导热胶需同促进剂配合使用才能有效固化，非固化型导热胶有导热硅脂和相变导热胶，非固化导热胶对应散热器需要机械固定。

4. 导电胶

导电胶是一种固化或干燥后具有一定导电性能的胶黏剂，它通常以基体树脂和导电填料即导电粒子为主要组成成分，通过基体树脂的黏接作用把导电粒子结合在一起，形成导电通路，实现被黏材料的导电连接。按导电方向分为各向同性导电（Isotropic Conductive Adhesives, ICAs）和各向异性导电胶（Anisotropic Conductive Adhesives, ACAs）。ICA 是指各个方向均导电的胶黏剂，可广泛用于多种电子领域；ACA 则指在一个方向上（如 Z 方向）导电，而在 X 和 Y 方向不导电的胶黏剂。

5. 元器件固定胶

元器件固定胶主要是对元器件进行加固提高元器件的抗冲击震动性，主要包括加固硅胶、黄胶和热熔胶。加固硅胶和黄胶在常温下即可固化，热熔胶是先高温熔化后施胶，降温后即可对元器件形成保护。

6. 密封胶

电子类密封胶主要包括室温硫化硅橡胶和灌封固定胶，室温硫化硅橡胶一般是湿气固化机理，根据固化反应类型可分为脱醇型、脱酸型、脱肟型，对于电子设备最好选择脱醇型硅橡胶。

7. 灌封胶

灌封胶是一种起黏结、密封、固定和涂覆保护等多种用途的电子胶水。灌封胶在未固化前属于液体状，具有流动性，胶液黏度根据产品的材质、性能、生产工艺的不同而有所区别。灌封胶完全固化后才能实现它的使用价值，固化后可以起到防水防潮、防尘、绝缘、导热、保密、防腐蚀、耐温、防震的作用。电子灌封胶种类非常多，从材质类型来分，目前使用最多最常见的主要为 3 种，即环氧树脂灌封胶、有机硅树脂灌封胶、聚氨酯灌封胶。灌



密封胶目前广泛应用于电源模块、精密电子元器件、LED封装、太阳能、背光源以及气体对可靠性要求高的电子产品上。

4.6 其他类电子装联辅料

4.6.1 金手指保护胶纸

金手指保护胶纸主要是为了保护PCB的镀金插接部分，如图4.6所示。又称Kapton胶带或聚酰亚胺胶带，该胶带以聚酰亚胺薄膜为基材，单面涂布高性能有机硅压敏胶，有单面氟塑离型材料复合或不复合两类材料。涂布高精度达到 $\pm 2.5\mu\text{m}$ ，无刮痕、拉丝等现象，剪切性能佳，易冲型模切加工，具有优异的耐高温性和耐溶剂性能。



图4.6 金手指保护胶纸

按照金手指胶带运用方面的不同，可以分为金手指双面胶带、防静电金手指胶带、复合金手指胶带及SMT金手指胶带等。

由于金手指保护胶纸具有耐高温、抗拉强度高、耐化学性能佳、无残胶、符合ROHS环保无卤等优点，适用于电子线路板波峰焊焊锡遮蔽、保护金手指和高档电器绝缘、电动机绝缘，以及锂电池正负极耳固定。

储存条件：10~30℃，相对湿度40%RH~70%RH；避免阳光直射及高温（40℃以上）高湿（大于75%RH）环境；保存期限为6个月。

4.6.2 耐高温胶纸

耐高温胶纸是指贴在PCB或者PCBA半成品上需要过回流焊和波峰焊等高温工序的胶纸，要求经过高温后不变形翘起，去除胶纸后没有残胶。

4.6.3 清洗剂

电子装联用清洗剂主要作用是清洗PCB、元器件、PCBA，钢网、工装夹具和制造设备和工具。清洗剂要对污染物有较强的溶解能力，能有效地溶解和去除污染杂质，不留残渣或残痕。选用清洗时应选对环境无害的，最好选用非ODS类（破坏臭氧层物质）清洗剂和 VOC类（有机可挥发物质）清洗剂。







思考题 4

- (1) 常用的钎料有哪些？分别有什么特点及应用？
- (2) 助焊剂有哪些类别？如何选用助焊剂？
- (3) 焊膏的构成及作用机理是什么？如何使用焊膏？

第5章 软钎焊接工艺技术



本章要点

-  软钎焊接理论
-  手工焊接工艺
-  波峰焊焊接工艺
-  选择性波峰焊焊接工艺
-  再流焊接工艺
-  其他焊接工艺

5.1 软钎焊接理论

5.1.1 什么是软钎焊

电子装联焊接是一种软钎焊技术。

钎焊技术是采用比母材熔点低的填充材料作为钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料熔点但低于母材熔化的温度（使母材仍保持为固态），利用熔融钎料的润湿作用填充接头间隙，与母材相互扩散实现被焊工件连接的一种方法。

与熔焊相比，钎焊的优点是加热温度低、工件变形小、接头平整美观、可连接不同的材料、生产效率高等；缺点是钎焊接头强度低、接头装配要求高，应保证严格的装配间隙。

钎焊接头的质量与所选用的钎焊方法、钎焊材料（钎剂、钎料等）和工艺参数等有关。按照不同的特征和标准，钎焊方法有以下几种分类方法。

1) 钎料分类

按照熔点来分，通常钎料可分为软钎料（熔点 $<450^{\circ}\text{C}$ ）和硬钎料（熔点 $>450^{\circ}\text{C}$ ），采用软钎料的钎焊称为软钎焊，而采用硬钎料的钎焊称为硬钎焊。

在现代电子装联工艺中，基本上均是采用软钎接，俗称锡焊，本书所提焊接均指软钎焊。

2) 在现代电子装联工艺中采用软钎焊的优点

- (1) 熔化温度范围窄，适合工程应用范围需要。
- (2) 润湿性、机械和电气性能可以满足电子产品要求。
- (3) 经济性较好。

如图 5.1 所示，电子装联中的焊接是一种软钎焊技术，它是利用比被焊金属熔点低的焊料，与被焊金属一同加热，在被焊金属不熔化的条件下，熔融焊料润湿金属表面，并在接触面上形成合金层，从而达到牢固的连接过程。

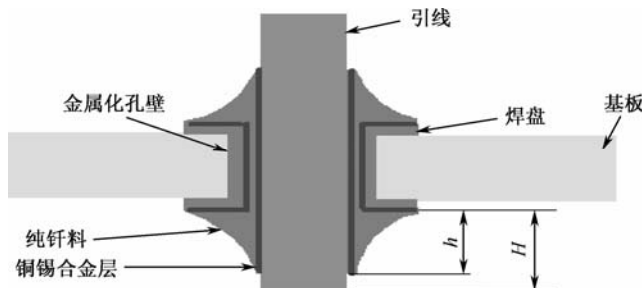


图 5.1 软钎焊示意图

焊接的目的：

- ① 电气的连接：把两个金属连接在一起，使电流能导通。



- ② 机械的连接：把两个金属连接在一起，使两者位置关系固定。
- ③ 密封：把两个金属焊接后，防止空气、水、油等渗漏。

5.1.2 软钎焊接机理

1. 焊点形成

一个焊点的形成要经过三个阶段的变化：

- ① 熔融焊料在被焊金属表面的润湿阶段。
- ② 熔融焊料在被焊金属表面的扩展阶段。
- ③ 熔融焊料通过毛细管作用渗透焊缝，与被焊金属在接触面上形成合金层。

焊接的润湿作用：

软钎接过程中接合作用的第一步，是软钎料借助毛细管现象在接合金属表面上充分铺展开，这现象就称为润湿。

为使熔融的软钎料润湿固体金属表面，必须具备一定的条件。其条件之一就是被焊金属表面必须是洁净的。这样软钎料与被接合的基体金属的原子间距离才能接近到原子间力作用的程度。

如图 5.2 所示，给出了润湿过程作用力，黏结力 F_f ——液体分子（熔融焊料）与固体分子（被焊金属）之间的相互引力；表面张力 F_c ——液体分子之间的相互引力。

- 当黏结力 $F_f >$ 表面张力 F_c 时，润湿；
- 当黏结力 $F_f <$ 表面张力 F_c 时，不润湿。

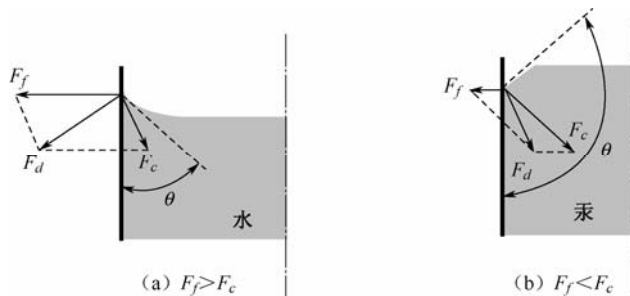


图 5.2 润湿过程作用力示意图

根据上述原理，焊接时降低熔融焊料的表面张力，可以提高焊料对被焊金属的润湿能力。而降低焊料表面张力的最有效手段是：焊接时使用焊剂。

焊点形成的作用力如图 5.3 所示。

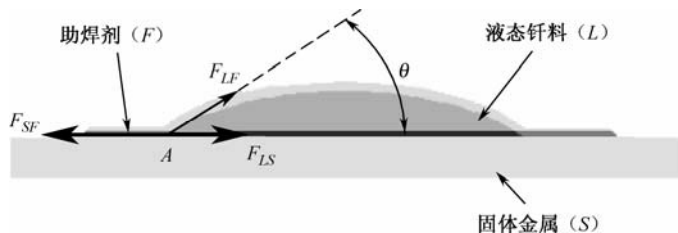


图 5.3 焊点形成作用力

当焊料在被焊金属上达到平衡时, $F_{\text{合}}=0$, 即

$$F_{\text{合}}=F_{\text{SF}}-F_{\text{L}\xi}-F_{\text{LF}} \cdot \cos\theta=0$$

\therefore

$$\cos\theta=(F_{\text{SF}}-F_{\text{L}\xi})/F_{\text{LF}}$$

从上式可以看出, 润湿角 θ 的大小, 可以衡量焊料对被焊金属润湿性能的好坏。

当 $\theta < 90^\circ$ 时, $\cos\theta > 0$, $F_2 > F_{\text{L}\xi}$, 润湿。

当 $\theta > 90^\circ$ 时, $\cos\theta < 0$, $F_2 < F_{\text{L}\xi}$, 不润湿。

当 $\theta \rightarrow 0^\circ$ 时, $\cos\theta \rightarrow 1$, 完全润湿。

当 $\theta \rightarrow 180^\circ$ 时, $\cos\theta \rightarrow -1$, 完全不润湿。

一般来讲, $\theta = 20^\circ \sim 30^\circ$ 为良好的润湿, 是合格的焊点。

2. 影响焊点质量的因素

- 焊料的性能;
- 焊剂的性能;
- 被焊金属的表面状态;
- 焊接工艺条件;
- 操作方法。

1) 合金层

熔融焊料润湿被焊金属时, 同时会产生金属间的扩散, 从而在金属接触面上形成合金层, 达到焊接的最终目的。合金层结构如图 5.4 所示。

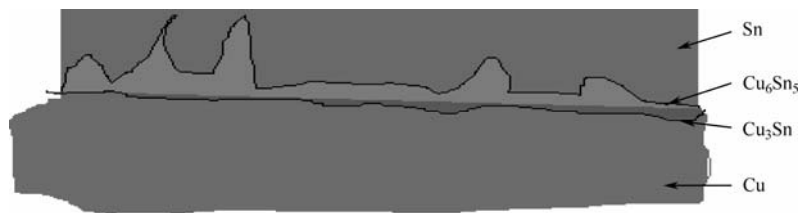


图 5.4 合金层结构示意图

2) 扩散

焊点（合金层）的形成：金属间扩散作用。

任何金属内部都不是完全致密的, 在晶格内部或晶界面上总存在一定数量的间隙或空穴。在正常情况下, 金属原子在晶格中都以其平衡位置为中心进行着不停地热运动, 这种运动随着温度的增高, 其频率和能量也逐步增高, 当达到足够能量和温度时, 某些原子会克服周围原子对它的束缚, 脱离原来占据的位置, 这种现象就是扩散, 如图 5.5 所示。

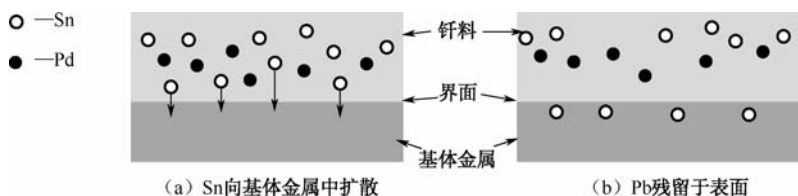


图 5.5 金属原子扩散示意图



如图 5.6 所示, 给出了被焊金属溶解速度随温度的变化关系。

由图 5.6 可见, 溶解速度随温度升高而加快。

如图 5.7 所示, 给出了铜在锡中溶解速度随时间的变化情况。

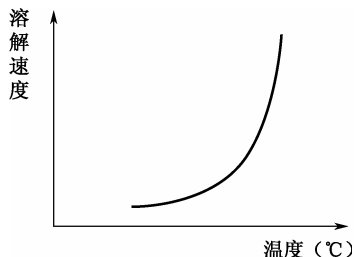


图 5.6 被焊金属溶解速度与温度的关系

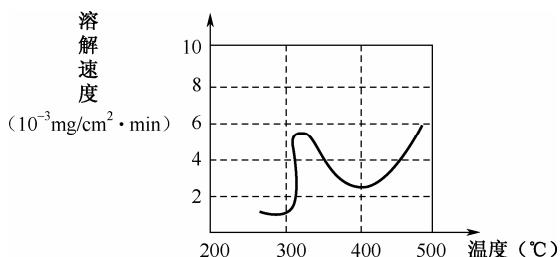


图 5.7 Cu 在 Sn 中溶解速度曲线

由图 5.7 可见, 该变化并非线性变化, 而是先增加达到一定峰值后出现下降趋势, 达到一定程度后再随温度升高而升高。

软铅焊接机理给出了我们改善焊接质量的指导, 通常改善焊接、提高焊接质量的对策有:

- ① 必须保持有一个清洁的接触表面。
- ② 要想办法降低焊料的表面张力。
- ③ 保持一定的焊接温度和焊接时间。
- ④ 要了解被焊金属的表面特性。

5.2 手工焊接工艺

5.2.1 手工焊接用工具和材料

1. 电烙铁

1) 电烙铁的分类

按照加热方式, 电烙铁可分为直热式、感应式、两用式和恒温式等几种。

(1) 直热式电烙铁。

按照加热方式的不同, 又可分为内热式和外热式两种

① 内热式电烙铁。

内热式电烙铁的特征是, 加热元器件装在烙铁头的内部, 从烙铁头内部向外传热, 如图 5.8 所示。



图 5.8 内热式电烙铁结构图

② 外热式电烙铁。

外热式电烙铁的特征是，如热元器件包在烙铁头外，如图 5.9 所示。

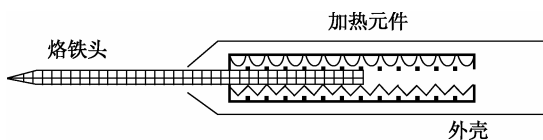


图 5.9 外热式电烙铁结构图

(2) 感应式电烙铁。

感应式电烙铁也叫速热烙铁，俗称焊枪，其结构如图 5.10 所示。

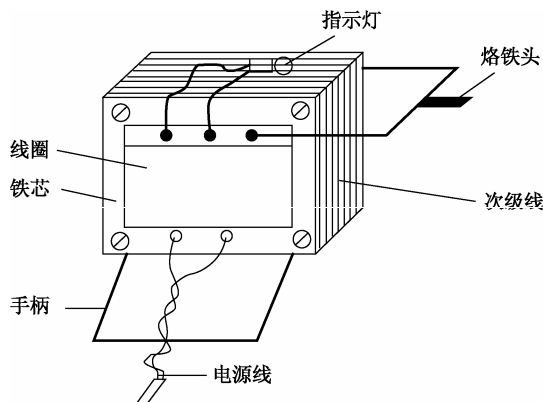


图 5.10 感应式电烙铁结构图

感应式电烙铁里面实际上是一个变压器，这个变压器的次级线圈只有一匝。当变压器初级通电时，次级感应出的大电流通过加热体，使同它相连的烙铁头迅速达到焊接所需要的温度。

这种电烙铁的特点是加热速度快。一般通电几秒，即可达到焊接温度。因此不需要像直热式烙铁那样持续通电。它的手柄上带有开关，工作时只需按下开关几秒钟即可进行焊接。适用于断续焊接时使用。

(3) 两用式电烙铁。

两用式电烙铁即集焊接和拆焊两用的电烙铁，又称吸锡电烙铁。它是在普通直热式电烙铁上增加吸锡结构组成，具有加热、吸锡两种功能。也可将吸锡器制成单独的一种工具。

(4) 恒温式电烙铁。

恒温式电烙铁又分为自动和手动两种。手动实际上是将电烙铁接到一个可调电源（如调压器）上，由调压器上的刻度反映出可调烙铁的温度。

自动恒温电烙铁的控温方式有：

- 依靠温度传感元器件监测烙铁头的温度变化，并通过放大器将传感器输出的信号放大，控制电烙铁的供电电路，从而达到恒温的目的。
- 利用强磁体传感器的居里温度，当温度达到该强磁体的居里温度时磁性消失的特性达到恒温目的。



2) 电烙铁的合理选用

(1) 选用原则。

- 必须满足焊接所需的热量，并能在操作过程中保持一定的温度。
- 温升快、热效率高，在连续操作时温度下降不多。
- 电气、机械性能安全可靠，特别是抑制静电损伤的能力。
- 质量轻，操作舒适，工作寿命长，维修方便。
- 烙铁头形状要适应焊接空间的要求。

(2) 电烙铁的选择依据参见表 5.1。

表 5.1 烙铁选择依据

焊接对象及工作性质	烙铁头温度 (室温、220V 电压)	选用烙铁
一般印制电路板、安装导线	300~400℃	20W 内热式、30W 外热式、恒温式
集成电路	300~400℃	20W 内热式、恒温式
焊片、电位器、2~8W 电阻、大电解电容器、大功率管	350~450℃	35~50W 内热式、恒温式 50~75W 外热式
8W 以上大电阻、 $\phi 2\text{mm}$ 以上导线	400~550℃	100W 内热式、150~200W 外热式
汇流排、电阻板等	500~630℃	300W 外热式
维修、调试一般电子产品		20W 内热式、恒温式、感应式、两用式

3) 电烙铁防静电及电泄漏要求

电烙铁必须是防静电的，要求全部采用三线制的外热式电烙铁（两根电源线，一根为烙铁头直接接大地的连线），接地要求如图 5.11 所示，烙铁头对地电阻 $\leq 5\Omega$ ，烙铁头尖部的电泄漏 $\leq 2\text{mV}$ 。配备专用的仪器定期检测。

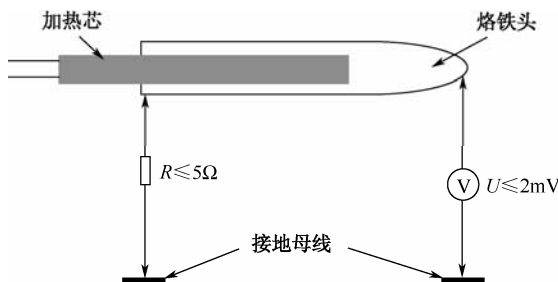


图 5.11 电烙铁烙铁头防静电要求

4) 烙铁头温度的调整和测量

(1) 一般电烙铁根据生产和使用要求调节温度，方法是用螺丝刀拧开固定旋钮，将烙铁头往外拉可以降低烙铁头温度，反之提高烙铁头温度，对于 PACE 电烙铁可以调节控制面板旋钮调节温度。

(2) 为确保电烙铁正常使用，规定使用人每隔一天对烙铁头温度检测一次，并做好记录。

(3) 烙铁头温度测量采用 HAKKO 191 日本白光牌温度计，其特性如下：



- 使用环境温度为 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$;
- 测量温度范围为 $0\sim 600^{\circ}\text{C}$;
- 误差范围为 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 温度感应器系用非常纤细的丝绕制而成, 切勿挤压以免断裂。感应器使用寿命为 50 次左右。当屏幕显示器最前端显示-1 时, 表明感应器性能已经不行, 应该报废, 更换新的感应器。

(5) 更换感应器时, 用左手压按钮, 右手将感应器的红线套入红色终端, 蓝线套入蓝色终端, 然后松开按钮。

(6) 测量温度时, 将开关拨到 ON 位置, 显示室温 (25°C 左右), 再将待测烙铁头蘸上焊料, 使烙铁头触及感应器测量点, 在 $2\sim 3\text{ s}$ 内可测得烙铁头的温度。

5) 新烙铁使用前的处理

(1) 去氧化。

用细砂布 (对于旧烙铁可用细锉刀) 对烙铁头进行打磨, 露出新鲜表面后, 在松香水中浸一下。

(2) 上焊料。

接通烙铁的电源, 加热烙铁头。加热后, 在放有松香和焊料的器皿中来回摩擦, 直到整个烙铁头的修理面均匀浸上一层焊料为止。

注意: 烙铁通电后一定要立即蘸上松香, 否则表面会生成难上锡的氧化层。

2. 材料

1) 焊料

(1) 铅合金。

① 空心焊料丝。其要求为: 合金成分为 Sn63/Pb37、中心充有免洗的中等活性助焊剂。

② 实心焊料丝。合金成分相同, 中心无助焊剂, 必须和液体助焊剂配合使用。

上述两种类型的焊料丝, 粗细直径常选用 0.8mm 和 1mm 两种规格, 其中: 流水线手焊使用直径 0.8mm, 背板部件线使用直径 1.0mm。

(2) 无铅合金。

除合金成分为 Sn3.0Ag0.5Cu 的丝状合金外, 其他要求与有铅合金完全相同。

2) 助焊剂

在电子装联工艺中目前最普遍使用的是: 无卤素、中等活性、免清洗的液体助焊剂, 在 PCBA 组装中禁止使用酸性较强、易吸湿的膏状助焊剂。

5.2.2 手工焊接工艺

1. 工艺流程

手工焊接工艺流程为:



刷助焊剂→加热→加焊料→冷却→清洁

1) 刷助焊剂

用小毛刷在焊接部位刷上一层助焊剂。当使用带有焊剂芯的焊锡丝时,除修复和修整焊点外,不再添加助焊剂。

2) 加热

操作时,烙铁头应对元器件引线和焊盘同时加热,如图 5.12 所示。注意烙铁头一定不能碰到元器件本体,尤其是陶瓷基体和树脂封装的元器件,以免受热冲击产生裂纹或损坏。

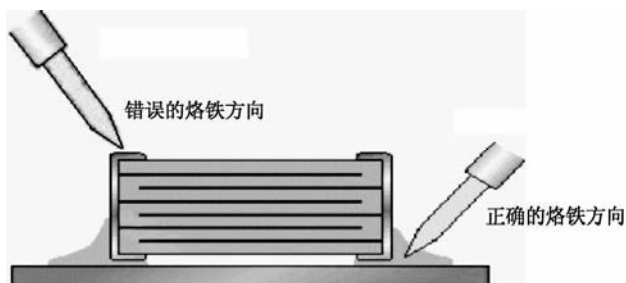


图 5.12 陶瓷贴片电容焊接时烙铁施焊位置示意图

3) 加焊料

焊料要加在烙铁头和连接部位的接合处,焊料要适量。烙铁头应该带动熔融的焊料顺着元器件引脚移动一个距离,保证焊料覆盖住连接部位并形成半弓状向下凹的焊点形状,如图 5.13 所示。对于金属化孔,应使焊料从印制板通孔的一侧流动,保证孔内镀层被焊料润湿并填充。焊点允许有轻微凹陷,但凹陷量应小于包括印制电路板两面焊盘厚度在内的板厚的 25%,焊点润湿状态必须良好。

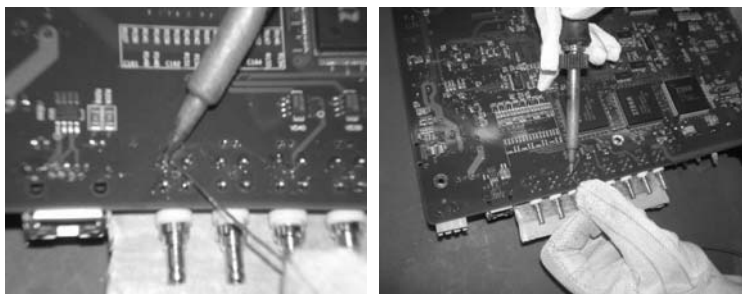


图 5.13 加焊料过程

4) 冷却

焊点的冷却不应受到任何外力作用,否则可能会造成扰动焊点。让焊点在室温下自然冷却,严禁用嘴吹或用其他强制性冷却方法。当焊接时采用了镊子或其他工具固定时,一定要等焊料凝固之后再移走固定工具。

5) 清洁

(1) 焊接后, 对 PCB 上有明显可见的助焊剂残留和脏污, 须先采用沾有清洗剂的毛刷对该部位进行刷洗, 然后再用无尘布擦干。如果需要清理的空间很小, 用上述方法难以操作的话, 可以将镊子尖部先后裹上胶纸和无尘布再蘸上清洗剂进行清洗、擦干, 胶纸和无尘布的缠裹方法如图 5.14 所示。关于 PCB 上锡珠的清理, 可使用不锈钢镊子进行去除。

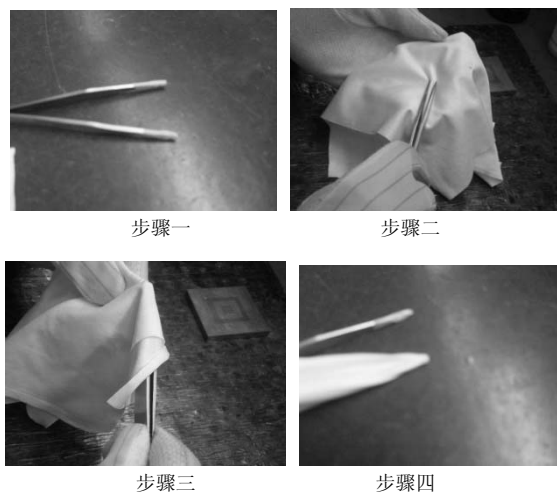


图 5.14 胶纸和无尘布在镊子上的缠裹方法

(2) 焊接后, 对 PCB 上的焊料球 (即锡珠和锡渣) 进行清洗, 方法是首先用不锈钢镊子去除颗粒较大的, 注意不能用力过大, 以免划伤 PCB 和元器件, 然后再用毛刷去除颗粒较小的, 如图 5.15 所示。

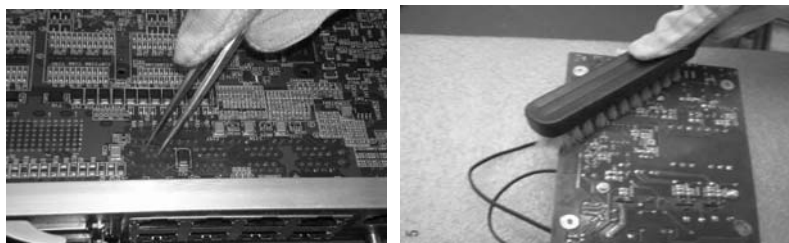


图 5.15 PCB 清洗方法

2. 手工焊接工艺要求

1) 助焊剂的使用

液体助焊剂与空心钎料丝一起应用时, 要保证它与钎料丝里的助焊剂能够相容。液体助焊剂应在加热前施加到待焊接的表面上, 并避免过量应用。钎料丝与被焊接表面的接触区域应保证助焊剂的流动且能漫流整个被焊表面。



2) 焊料的使用

把烙铁头以尽可能大的接触面积与被焊区接触,并立即将少量的焊料熔化在烙铁头的接触点处,形成一焊料桥,以利于热能通过焊料桥快速传递到被焊区域。热量传送一段时间后,焊料应施加于连接处而非烙铁头头部。可以同时向导通孔的两边加热,但焊料仅能加在导通孔的一边。

3) 特殊器件

对热敏元器件或遇热易损元器件、导线的绝缘层特别是粗导线的绝缘层,焊接时应采取散热措施。例如,在烙铁头与元器件体之间使用热分流器,以限制热量传送到元器件封装体上。

4) 焊料芯吸

焊料芯吸是由于毛细作用而导入其流入过孔内所发生的一种少锡现象。不能让焊料因芯吸作用而到达需要保持挠性的导线部分。

3. 焊接操作的基本规则

(1) 保持烙铁头的清洁。在烙铁架上随时蹭去杂质,也可用湿布和湿海绵随时擦拭烙铁头。氧化、污染严重的普通烙铁(长寿命烙铁除外),可用锉刀锉去表面氧化层和污物。

(2) 靠增加接触面积来加快传热。企图用烙铁头对焊接面施加压力,这是不对的。正确方法是:要根据焊点的形状选用不同的烙铁头,让烙铁头与被焊区域形成面接触,这样就能大大提高传热效率。

(3) 充分利用焊料桥传热。所谓焊料桥,就是靠烙铁头上保留少量焊料,作为加热时烙铁头与被焊区域之间热传递的桥梁,以提高加热效率。应注意,作为焊料桥的焊料量不可保留太多。

(4) 烙铁的撤离要及时,而且撤离时的角度和方向与焊点的形成有关。

(5) 在焊料未凝固之前,切勿使被焊件移动或受到振动,特别是使用夹子夹住被焊件时,一定要等焊料凝固后再移走镊子,否则极易造成撬动焊点。

(6) 焊料用量要适中。选用焊料丝直径一般要略小于焊盘直径,焊接时焊料不能过多,也不能过少,过多不但会浪费焊料,而且还会增加焊接时间;过少则可能影响连接强度。

(7) 焊剂用量要适中。适量的助焊剂对焊接非常有利,过多将增加焊后的残留物,降低清洁度且延长了加热时间,降低了工作效率。当加热时间不足时,又容易形成“夹渣”缺陷。当焊接开关、接插件时,过量的助焊剂容易流到焊接区域以外的触点处,造成接触不良。

(8) 不要使用烙铁头作为运载焊料的工具。要克服用烙铁头蘸上焊料再去焊接的不良习惯。

4. 工艺操作过程控制

1) 电烙铁使用温度的选择

(1) 贴片、装配检焊、部件、背板、电缆、手机生产线等工位,烙铁头温度应严格按生



产工位作业指导书规定执行。

(2) 维修一般元器件(包括 IC)烙铁温度在保持在 $350^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ 范围内。

(3) 维修引脚粗的电源模块、变压器(或电感)、大电解电容以及大面积铜箔焊盘等场合,烙铁头温度应控制在 $400^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ 范围内。

2) 烙铁的握法

电烙铁的握法分为三种,即反握法、正握法、握笔法,如图 5.16 所示。

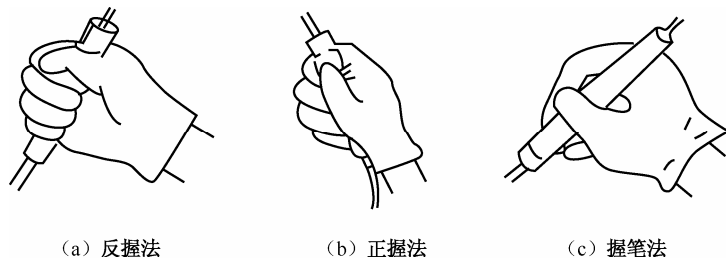


图 5.16 烙铁的握法

在图 5.17 中,图(a)为反握法,适用于大功率电烙铁,适用于焊接散热面较大的被焊件;图(b)为正握法,适用于大功率电烙铁,多用于弯型电烙铁;图(c)为握笔法,适用于小功率电烙铁,适用于手工贴片,单板检焊等。

3) 确保焊接效果的条件

(1) 被焊金属材料、元器件引线具有良好的可焊性。

(2) 被焊金属、元器件引线表面清洁、无氧化。

(3) 焊料的成分和性能符合焊接要求。

(4) 助焊剂使用适当,在使用充有助焊剂的丝状焊料时,一般不需要另添加助焊剂。

(5) 选择适当功率的电烙铁,保证焊接时所需热量。

(6) 烙铁头头部温度选择恰到好处。

(7) 焊接时间适当,视具体情况,可在 $2 \sim 4\text{ s}$ 内选择。

(8) 操作方法正确,熟练掌握焊接技术和要求。

(9) 对引线较多的元器件应按对角线的方法焊接,先预焊对角线焊脚,固定其位置,然后依次焊接其余焊脚。

(10) 手工焊接的元器件应按规定顺序插装,插装一部分焊接一部分,插装后应先预焊固定位置后,再进行正式焊接。

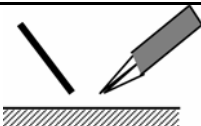
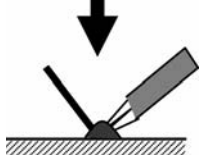

5. 工艺操作方法

1) 三步法

三步法适用于热容量小(散热慢)的元器件的焊接,其具体方法如表 5.2 所示。



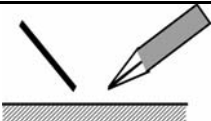

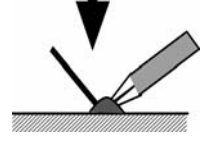
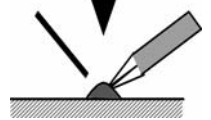
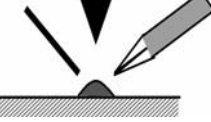
表 5.2 三 步 法

	<p>步骤一 准备</p> <p>烙铁头和焊料丝靠近，处于随时可以进行焊接的状态，同时确认位置</p>
	<p>步骤二 放上烙铁和焊料丝</p> <p>同时放上烙铁和焊料丝，熔化适量的焊料</p>
	<p>步骤三 拿开烙铁和焊料丝</p> <p>当焊料的扩展范围达到要求后，拿开烙铁和焊料丝。这时注意拿开焊料丝的时机不得迟于烙铁的撤离</p>

2) 五步法

五步法适用于热容量大（散热快）的元器件的焊接，其具体方法如表 5.3 所示。

表 5.3 五 步 法

	<p>步骤一 准备</p> <p>烙铁头和焊料丝靠近，处于随时可以进行焊接的状态，同时确认位置</p>
	<p>步骤二 放上烙铁</p> <p>烙铁头放到工件上进行加热</p>
	<p>步骤三 熔化焊料丝</p> <p>焊料丝放在工件上，熔化适量焊料丝</p>
	<p>步骤四 拿开焊料丝</p> <p>熔化适量焊料丝后迅速拿开焊料丝</p>
	<p>步骤五 拿开烙铁</p> <p>焊料的扩展范围达到要求后，拿开烙铁。注意烙铁的速度和方向</p>

(1) 准备拖焊：左手拿焊料丝，右手握烙铁，进入备焊状态。要求烙铁头保持干净，无锡渣等氧化物，并在表面镀有一层焊料。

(2) 加热焊件：烙铁头靠在被焊件的连接处，加热整个焊接区。对于印制板上焊接元器件来说，要注意使烙铁头同时接触焊盘和元器件引线。

焊接时，烙铁头与元器件引脚以及焊盘之间必须同时接触，如图 5.17 所示。

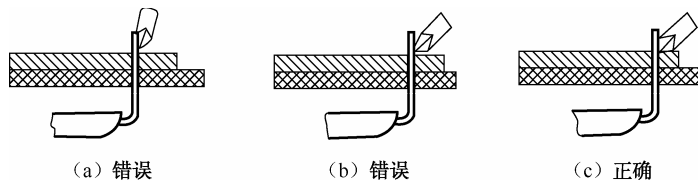


图 5.17 烙铁的接触

(3) 送入焊料丝：被焊件的焊接面被加热到一定温度时，焊料丝从烙铁对面接触焊件。注意：不要把焊料丝送到烙铁头上。

(4) 移开焊料丝：当焊料丝熔化一定量后，立即向左上 45° 角方向移开焊料丝。

(5) 移开烙铁：焊料浸润焊盘和焊件的施焊部位以后，向右上方 45° 角方向移开烙铁，结束焊接。

6. 焊料丝的拿法和熔化方法

(1) 焊料丝的拿法通常分连续操作和断续操作两种情况。

(2) 焊料丝的熔化方法如图 5.18 所示。

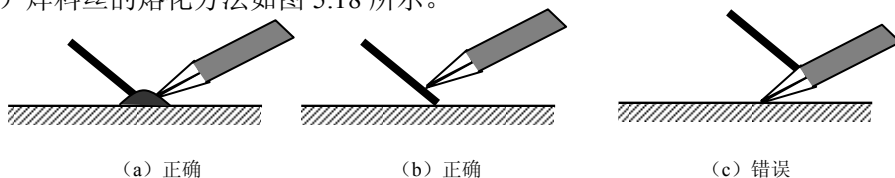


图 5.18 焊料丝的拿法和熔化方法

7. 芯片的焊接

检查芯片的方向与 PCB 上丝印图是否一致，将元器件正确定位（注意应轻拿轻放），然后用小毛刷在四周引脚上轻轻涂上一层助焊剂。焊接时，先焊上一个引脚，再焊对角的一个引脚，将元器件初步定位，然后再焊其他引脚；注意用力不可过大，焊接时间不可过长，以免损坏引脚和芯片。

5.2.3 手工焊接注意事项

1. 注意对电气过载（EOS）损害的防护

电子元器件及 PCBA 易受到许多不同来源（如电烙铁、吸锡器等工具产生的尖峰电脉冲）的意外电能的损害。因此，操作工作台和工具（如电烙铁、吸锡器等）应可靠接地和具备完善的防静电措施。



2. 安全电压和安全电流

电烙铁和吸锡器的电源应采用安全电压（ $\sim 36\text{V}$ ），以预防人体遭电击。当然，决定对人体有致命危险的电击是电流而不是电压。但产生电流必须有电压，决定电击效果的是阻碍电流的电阻，人身的电阻因人及皮肤的干燥程度的不同而异，可能有几百欧到几千欧之差。据文献记载，通过人体电流达 100mA 可致人死亡，大于 20mA 将使人感到痛苦、麻木、呼吸困难等症状。因此，即便是 36V 电压对某些操作者来说，也可能是致命的。因此，防止触电不能有任何疏忽。

3. 文明操作

(1) 不焊接时应关掉烙铁电源，烙铁放置位置要正确，防止烧伤人。

(2) 液体助焊剂和清洗剂等属易燃物品，应注意管理。

(3) 焊接过程中，不应乱甩烙铁头上的焊料；焊接完毕应及时清除导线头、锡渣等多余物；手工剪脚时应避开其他产品，将印制板侧立剪脚，防止落入产品内造成隐患；对焊点周围的脏污应用清洗剂局部擦洗。

(4) 导线端头和大面积焊盘，焊接前应先预蘸上焊料后再进行正式焊接。焊接、检验过程中严防印制板金手指部位弄上焊料或其他污物，严防金手指损伤。

(5) 正确使用、维护、保养好焊接工具。

5.3 波峰焊焊接工艺

波峰焊是将熔融的液态焊料，借助于泵的作用，在焊料槽液面形成特定形状的焊料波，插装了元器件的 PCB 置于传送链上，经过某一特定的角度以及一定的浸入深度穿过焊料波峰而实现焊点焊接的过程。

5.3.1 波峰焊焊接机理

波峰焊焊接工艺流程（又称制程）可以分成 6 个主要部分，如图 5.19 所示，主要有进板、涂布焊剂、预热、焊接过程、冷却、出板等工序。

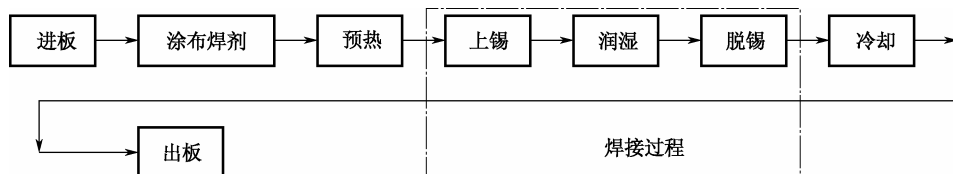


图 5.19 波峰焊焊接工艺流程

如图 5.20 所示，列出了波峰焊焊接的温度曲线。

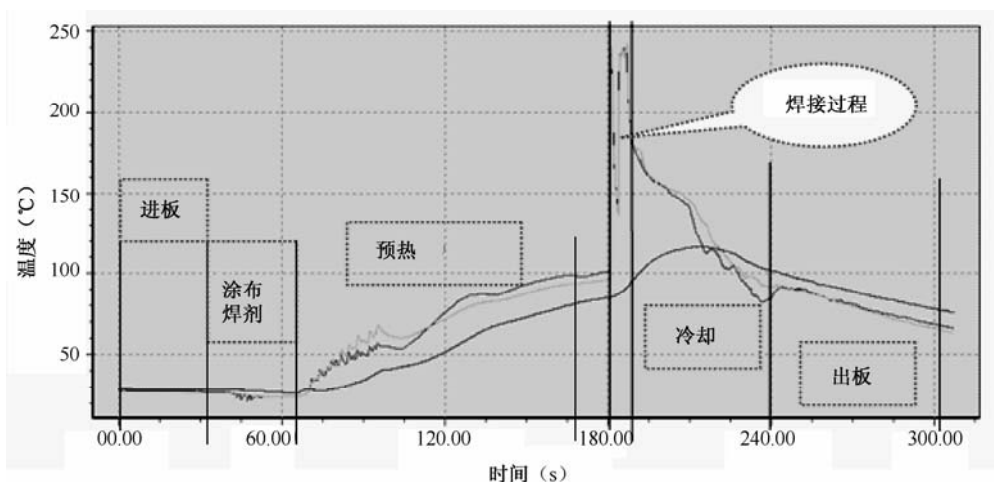


图 5.20 波峰焊焊接温度曲线

6 个主要部分的作用和原理介绍如下。

1. 进板

确保单板能被链爪稳定地扣住，并以一定的速度和倾角浸入波峰设备。要求是轨道的宽度能够稳定的处理 PCB 的宽度变化，链爪机板的强度适中，过程不造成掉板或卡板故障。

2. 涂布焊剂

助焊剂的作用主要包括：

- (1) 除去被焊基体金属表面的锈膜，获得无锈蚀的金属表面，防止加热过程中基体金属的二次氧化，并保持该被焊表面的洁净状态。
- (2) 对表面张力的平衡施加影响，减小接触角，促进钎料漫流。

根据波峰焊焊接中助焊剂的作用，涂布焊剂确保 PCB 底部喷涂一定量和一定均匀度的助焊剂，因此助焊剂喷涂系统的参数要控制得合适，包括喷嘴移动速度、喷涂气压和喷嘴阀门的大小。助焊剂的量要确保能充分去除基体金属表面的锈膜，防止金属的二次氧化和降低钎料的表面张力。

3. 预热

预热的作用是：

- (1) 促进助焊剂活性，充分发挥以确保被焊基体金属表面的锈膜被去除。
- (2) 除去助焊剂中过多的挥发物来改善焊接质量。
- (3) 减小波峰焊焊接时的热冲击，预热是温度逐步上升的过程，从而使波峰焊焊接时的热冲击减至最小或缓和了热应力，使 PCB 的翘曲和变形最小。
- (4) 减小元器件的热劣化，由于预热的作用，波峰焊焊接时的热冲击减小到最低，从而使热敏元器件损坏的危险程度降至最低。
- (5) 提高生产效率，预热缩短了波峰焊焊接过程中把 PCB 加热到润湿温度所需的时间，



从而加速了波峰焊焊接过程,提高了生产效率。

预热必须达到一定的温度才能充分发挥助焊剂的作用,同时温度也不能太高,超出一定的温度则助焊剂提前挥发,致使助焊剂对金属表面的保护效果变差,需造成焊接缺陷。

4. 焊接过程

焊接过程是钎料与被焊基体金属形成合金层的物理化学过程,是形成焊接的最重要过程,其机理如下所述。

1) 上锡

上锡是从 PCB 与波峰接触到润湿前这一段的过程,由于 PCB 与钎料流体运动方向相反,所以该段的速度差最大,因此这一段钎料对 PCB 和焊端的冲洗作用最大。冲洗可以从基体金属表面除掉已被预热的助焊剂和锈膜残渣混合物,以使钎料与 PCB 和焊端上的基体金属直接接触,当达到润湿温度时就会产生润湿现象。

2) 润湿

当达到润湿温度后,液态钎料就会在金属表面发生漫流现象,称为润湿,润湿是一种表面现象,当熔融的钎料在金属表面留下连续持久的膜层时,说明金属表面被润湿了,在润湿过程中,钎料中的金属原子和基体金属中的原子互相扩散形成合金层从而达到形成合金的焊接目的。

3) 脱锡

脱锡 PCB 从钎料波峰退出的过程。在退出点附近,由钎料液体动力学所产生的对钎料的向上压力已不是形成焊点的主要力,润湿力才是钎料上升并通过金属化孔的主导力,如果设备能完全控制这一点,就可以获得可靠性高的焊点,并大大减少焊后的修正量。为了得到最佳的焊接效果,要求钎料敷形高度均匀。因此,通过控制波峰出口处剥离区内的作用力就能达到这个目的。波峰出口的最佳处是在液内各作用力能互相平衡的地方。为此要尽量使 PCB 的传送速度与钎料流动速度在同方向上相匹配处使焊点脱离波峰。

在单板以某一特定的角度以及一定的浸入深度穿过焊料波峰形成焊点的过程中,浸入锡波时间、锡液温度以及传送的速度对焊点的形成都有影响,焊接过程要确保不出现漏焊、虚焊、连锡、拉尖等焊接缺陷,焊接时间过短容易出现漏焊和虚焊,传送速度和温度不合适造成连锡和拉尖。

5. 冷却

单板离开波峰后进入冷却阶段,冷却速度的大小对焊点质量、热冲击和单板变形有很大影响。在点胶贴片波峰焊焊接中,焊接后采用缓慢冷却,这对减小因温度剧变而形成的应力,避免元器件损坏(特别是陶瓷基器件)是有重要意义的。然而对无铅波峰焊焊接则要求对焊接面以较快的速度冷却,以抑制焊缘起翘和焊点晶粒粗大等缺陷。

6. 出板

确保将已焊接完成板稳定安全地送出设备。要求是轨道的宽度能够稳定地处理 PCB 的宽度变化, 传送力度和速度适中, 过程不造成掉板或卡板故障。

5.3.2 波峰焊焊接工艺参数

1. PCB 宽度/托盘宽度

PCB 宽度/托盘宽度指在设备运行时, PCB 宽度/托盘宽度与设备对 PCB 传送方向成直角方向(或泛指 Y 方向)的 PCB 宽度/托盘宽度尺寸。如果 PCB 非正方形或长方形时, 则指此方向的最大尺寸或最宽部位的尺寸, 如图 5.21 所示。

对于光板传送的 PCB, PCB 宽度与设备能力要求一致即可, 对于托盘传送的 PCB, 设备参数设置需按托盘宽度设置。对于需要托盘过波峰的单板, 在考虑 DFM 问题时需将托盘考虑在内。

良好的工艺要求波峰设备当 PCB 或者托盘在符合设备能力的条件下, 无误地对每一块 PCB 进行顺畅的传送, 没有掉板或卡板的故障情况。这是个属于设置属性的工艺参数, 所以也要求每次设置后准确而无需调整。

PCB 宽度这一工艺参数主要是通过测量设备的能力来保证的。

对于新的单板, 先用毫米钢尺测量 PCB 或者根据托盘上的标准的宽度通过手工摇柄或者设备自动设置, 然后根据实际的卡板情况进行微调。

2. PCB 长度/托盘长度

PCB 长度/托盘长度指在设备运行时, PCB 长度/托盘长度与设备对 PCB 传送同一方向(或泛指 X 方向)的 PCB 尺寸。如果 PCB 非正方形或长方形时, 则指此方向的最大尺寸或最长部位的尺寸, 如图 5.22 所示。

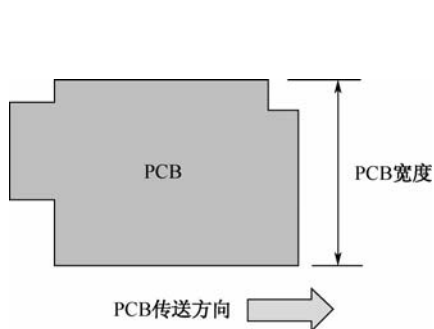


图 5.21 PCB 宽度和传送方向

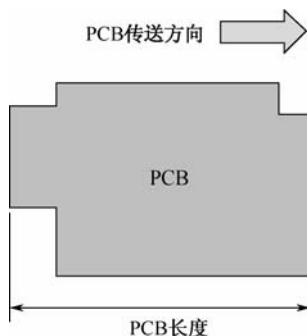


图 5.22 PCB 长度和传送方向

从工艺的角度来看, 这个参数是属于限制类参数。此参数的限制在于波峰设备感应设置, 非水平传送等的影响。产品的 DFM 必须遵从这个限制, 不是可调整的参数。

PCB 长度这一工艺参数主要是通过测量设备的能力来保证的。此参数不可控, 但是在某



些设备需要限制。

3. 双面板底部器件高度

如图 5.23 所示,双面板底部器件高度指在设备运行时,在 PCB 被喷涂助焊剂的一面上,延伸到与 PCB 垂直的方向上,器件所体现的最高高度,这个高度不是指单个器件的高度,而是指所有器件中的最高高度,也不是指器件本身的规格尺寸,而是指从底部 PCB 表面向下延伸的高度。

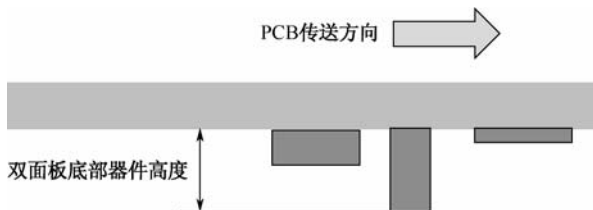


图 5.23 双面板底部器件高度

不同工艺路径的单板,底面器件高度的要求是不同的,比如点胶贴片和掩模波峰单板底面贴片要求高度不同。

从工艺的角度来看,这是限制类参数。此参数的限制在于波峰设备的性能,产品的 DFM 必须遵从这一限制,超出了影响产品的加工路径。

这一工艺参数主要是通过测量设备的能力来保证的。此参数不可控,但是需要限制。

4. PCB 翘曲度

PCB 垂直于 PCB 平面的变形程度。

从工艺的角度来看,这是限制类参数。此参数的限制在于单板平稳传送、波峰高度的需要,波峰前预热会导致变形过大,可能会导致卡板,波峰前需进行目视检验。

这一工艺参数主要是通过测量设备的能力来保证的。此参数不可控,是限制性参数,对于翘曲度超过设备能力的单板必须制作工装改善单板翘曲度。

5. 传送边

传送边是为了单板能在设备中平稳进出而在 PCB 两平行边或者托盘两平行边上一定宽度的传送部分,此参数在工艺上是限制的,如果 PCB 上没有传送边,则必须制作传送托盘。

这一工艺参数主要是通过测量设备的能力来保证的。此参数不可控,但是传送边需满足传送要求。

6. 传送速度

传送速度是单板沿传送边方向在设备中的行进速度,在波峰温度一定的情况下,传送速度决定了焊接时间,而器件的焊接时间决定于其可焊性(以润湿时间表示),传送速度应该能保证单板上最难焊的器件的焊接质量。

传送速度这一参数从工艺上是保证性质的,其大小都会影响焊接质量,传送太快预热温



度会变低,焊接时间变短,易造成假焊或虚焊;太慢则预热温度过高,助焊剂提前挥发,易造成拉尖和连锡。

传送速度值通过工艺方法应用专用测量仪器进行测量,一般和设备的设置是一致的。传送速度可以通过设备控制计算机或者设备本身的控制面板调节,根据故障原理,传送速度按 10cm/min 的幅度进行调节,比如从 120cm/min 调整到 110cm/min。

7. 轨道倾角

轨道倾角指波峰传送轨道与水平面的夹角角度,由于其调制的难度和复杂性,一般在设备安装时调好后不会再调整。

轨道倾角在设备安装时应用专用的仪器进行测量保证。在设备安装时进行调整确定后,后续一般不再进行调整。

8. 单板质量

单板质量通常指波峰设备能传送的单板的最大质量,是限制性参数,取决于链爪、轨道和传送电机所能承受的质量。

单板质量主要由设备能力决定,是限制性参数,以不超出链爪承受能力和设备传送电动机能力为限。这一工艺参数主要是通过测量设备的能力来保证的。

9. 负荷系数

负荷系数是传送方向上单板长度与相邻单板间距的一个参数,设为 L_F , 单板/托盘长度设为 A , 进板间距为 B , 如图 5.24 所示。

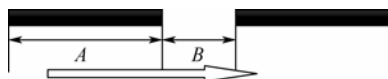


图 5.24 负荷系数示意

$$L_F = (A / (A + B)) \times 100\%$$

初始负荷系数通常按单板(含托盘)质量设置,然后根据实际生产时的预热回温情况进行调制,要确保单板预热温度符合焊接要求。

负荷系数的初始设置可以按设备可以承受的最大能力来设置,然后根据实际过板的焊接情况和预热回温情况来调制,调制方法为降低进板频率拉大进板间距直至达到预热稳定。通过工艺方法测量单板/托盘长度以及进板相邻单板间距来测量保证。

10. 形状/重心

单板形状和重心关系到单板的平稳传送,具体要求与设计息息相关。

11. 助焊剂喷涂量

助焊剂喷涂量是单板单位面积黏附助焊剂的质量,此工艺参数是调制参数,喷涂量的多少将影响后边的焊接质量,太少易出现连锡、虚焊、拉尖等缺陷,太多则形成残留影响单板



外观和可靠性。

助焊剂喷涂量通过设备控制计算机或者设备本身的控制面板调节,根据故障原理和不同设备调试方法。该参数可通过工艺方法应用专用测量仪器测量喷涂助焊剂前后单板质量以及单板面积来保证。

12. 助焊剂喷涂均衡度

助焊剂喷涂均衡度指单板不同位置助焊剂喷涂量的差异度,是限制性参数,此参数目前不可控,在特定条件下也会影响焊接质量。

助焊剂喷涂均衡度目前无法衡量,因此一般不进行调整,如果发现有喷涂不均的情况,一般是喷嘴堵塞所致,需要对喷嘴进行维护清理。

13. 通孔助焊剂喷涂效果

通孔助焊剂喷涂效果主要是指通孔内助焊剂喷涂的垂直高度和喷涂量,最终将影响透锡度和通孔焊接可靠性。

判定方法可参考助焊剂喷涂均衡度。

14. 预热终点温度

预热终点温度指单板在离开设备预热段时所能达到的温度,预热温度是调制属性,该参数是决定助焊剂作用大小的决定性因素,太低、太高都会造成焊接缺陷。

预热终点温度的调整其实就是对加热器的参数或者传送速度进行的调整,由于不同设备参数设置方式的不同,因此调试方式也不同,原则上每次调试预热温度要确保预热终点温度有 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ 的变化幅度。通过工艺方法应用专用测量仪器(如 KIC 或 DATAPAQ 等)进行测量保证。

15. 升温速率

升温速率是在预热阶段单板单位时间所升高的温度,其大小取决于元器件的耐热特性,升温速率超过元器件的耐热特性将导致元器件热劣化,影响期间长期可靠性。其大小与设备温度设置和传送速度相关。

升温速率的调整可以通过对加热器的参数或者传送速度进行调整,该参数在波峰焊故障调试中用得不多,但是要注意升温速率对单板或者元器件的热冲击。通过工艺方法应用专用测量仪器(如 KIC 或 DATAPAQ 等)进行测量保证。

16. 温度损失(从预热到焊接过程)

温度损失是单板离开预热段到进入锡炉之间下降的温度,此参数与设备密封性、传送速度有关,目前不可控,但是下降太多则会影响焊接质量。

温度损失目前是一个不进行监控的参数,但是与传送速度有一定的关系,传送速度快温度损失就小,传送速度慢温度损失就大。通过工艺方法应用专用测量仪器(如 KIC 或 DATAPAQ 等)进行测量保证。



17. 预热温度均衡度

预热温度均衡度指单板不同区域预热温度的差异度，目前是可控的，与单板结构、设备都有关系，在 DFM 设计上要避免出现低温区以避免假焊。

预热温度均衡度目前是一个不可控参数，和单板布局、托盘结构、加热器情况、助焊剂均衡度都有关系，如果不出现加热器损坏的情况，通常对焊接不会造成太大影响。可通过工艺方法应用专用测量仪器（如 KIC 或 DATAPAQ 等）进行测量保证。

18. 保温时间

保温时间是指预热过程中从达到助焊剂活化温度到预热结束的时间，在这段时间内助焊剂的活性得到发挥。

保温时间可以通过调整传送速度和加热器设置来调制，降低传送速度可以增加保温时间，反之则减少保温时间。提高加热器功率也可增加保温时间，反之则会减少保温时间。可通过工艺方法应用专用测量仪器（如 KIC 或 DATAPAQ 等）进行测量保证。

19. 波峰温度

波峰温度指波峰焊锡炉中锡液的温度，是焊接质量的重要影响因素，太低会导致虚焊和假焊，需要根据不同单板进行调试。

波峰温度可以通过设备控制计算机或者设备本身的控制面板来控制，波峰温度调整的幅度以 3℃ 来调整，比如可以从 245℃ 一次调到 248℃。可通过工艺方法应用专用测量仪器（如 KIC 或 DATAPAQ 等）进行测量保证。

20. 波峰高度

波峰高度主要是指波峰液面高出板底的高度，对点胶类单板尤其重要，对焊接时间、透锡度和点胶贴片焊接有重要影响。

波峰高度可以通过设备控制计算机或者设备本身控制面板来调整，不同设备的参数调制有所不同。

21. 焊接时间

焊接时间指单板同一位置浸入锡波到离开锡波的时间，是影响焊点质量最重要因素，焊接时间需要依据元器件的可焊性（用润湿时间衡量）而定，焊接时间需确保单板上最难焊的器件的润湿时间。焊接时间是调试参数，与通过波峰高度、波峰阔度、传送速度相关。

焊接时间与波峰阔度和传送速度直接相关，在波峰设备结构一定的情况下，波峰阔度由波峰高度决定，因此可以通过调整波高和传送速度调整焊接时间。可通过工艺方法应用专用测量仪器（如 KIC 或 DATAPAQ 等）进行测量保证。

22. 波峰阔度

波峰阔度指波峰沿传送方向上的宽度，与吸嘴结构、波峰高度和轨道倾角有关，波峰阔



度对焊接时间有直接影响。

在设备结构确定的情况下，波峰阔度可以通过波峰高度调整。

23. 冷却速率

冷却速率指单板离开波峰后单位时间温度下降的幅度，对焊点的形成有影响，有铅和无铅波峰焊对焊点的要求是不同的。目前是自然冷却，与设备密封性有关。

冷却速率目前是可控的，但是可以通过传送速度进行有限的调整，传送速度快冷却速率快，传送速度慢则冷却速率慢。

24. 冷却出口温度

冷却出口温度指单板离开波峰设备传送到检焊流水线上时的温度，该温度对员工操作有一定影响，温度太高不利于员工取板或者其他操作。

冷却出口温度目前不进行控制，以不影响后边工序的操作为准。出口温度可以通过调整传送速度来调整，提高传送速度出口温度提高，反之则出口温度降低。

5.3.3 波峰焊焊接工艺窗口的调制

在调制新产品的波峰焊工艺时，需要按照图 5.25 所示的建议流程。

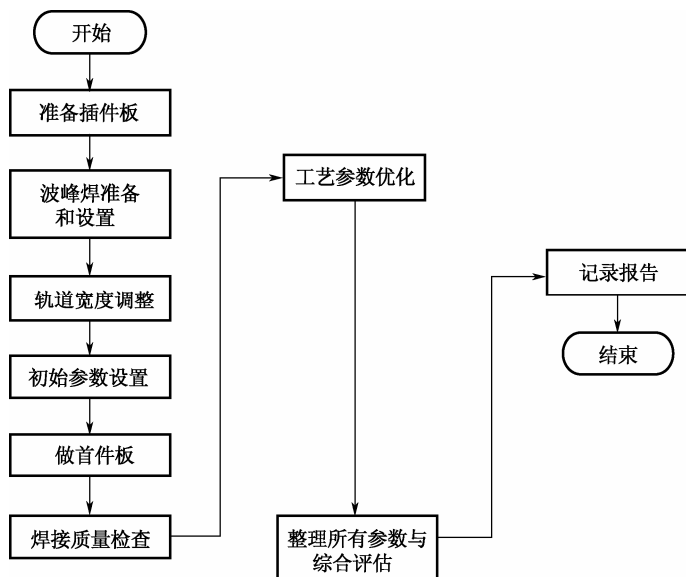


图 5.25 调制新产品波峰焊工艺流程

5.3.4 故障模式、原理和解决方法

波峰焊工艺共有 26 种故障模式，表 5.4 列出了各种故障模式的名称和定义。



表 5.4 波峰焊故障模式

序 号	故 障 模 式	定 义
1	沾锡不良	焊盘或者引脚只有一部分沾上锡，其余部分则没锡
2	球焊（焊点肥胖）	在焊点上形成锡球包住整个焊点
3	收锡（反润湿）	润湿锡又收回的现象，在金属基体表面往往留下一层很薄的钎料覆盖部分区域
4	焊盘污染	SMT 工序的点胶或印刷红胶污染了贴片波峰焊盘
5	掉件（炉后掉贴片）	SMT 点胶/刮胶贴片过波峰后脱落的现象
6	漏焊（接触时间不够）	SMT 点胶/刮胶贴片过波峰焊后贴片焊盘没有上锡的现象
7	锡珠	板面上存在小的锡珠，通常直径不超过 1mm
8	拉尖	在焊点形成冰尖状锡
9	虚焊	没有形成合适 IMC 层厚度的现象
10	连锡	不同焊点间存在焊锡连接现象
11	针孔/火山口	焊点上的小孔（针孔）或者气体吹出的大孔（火山口）
12	气孔（内部孔）	焊点内部的孔，外观无法看出
13	绿油上有残锡（锡皮）	绿油上残留锡渣，锡丝等钎料
14	板面脏污	板面有大量异物
15	锡量不足	焊点干瘪，锡量偏少的现象
16	通孔透锡不良	指通孔中锡的高度不符合标准要求的现象
17	器件浮高	波峰后器件被锡波浮起或冲击导致歪斜的情况
18	焊点裂痕	焊点上出现裂痕的现象，无铅焊接中常见
19	焊盘脱离	在无铅波峰焊接后，在基板、钎料、元器件引脚界面引起的剥离现象
20	PCB 起泡	绿油与基材间分离的现象
21	PCB 白斑	PCB 内层间发生分离的现象
22	助焊剂残留过多	波峰焊接后助焊剂残留过多的现象
23	热损坏	器件受预热或者焊接温度冲击导致的损坏现象
24	金属熔蚀	物料或者工艺问题（时间/温度）
25	挠动焊点	焊点呈现紊乱痕迹的钎料
26	二次融化	元器件面的贴片发生熔融的现象，通常见于 BGA、QFP 等细间距器件

各种故障的成因如下所述。

1. 沾锡不良

分析其原因及改善方式如下。

（1）外界的污染物如油、脂、腊等，此类污染物通常可用溶剂清洗，此类油污有时是在印刷刷焊剂时沾上的。

（2）Silicon Oil 通常用于脱模及润滑之用，通常会在基板及零件引脚上发现，而 Silicon Oil 不易清理，因此使用它要非常小心，尤其是当它作抗氧化油时常会发生问题，因它会蒸发沾在基板上而造成沾锡不良。

（3）常因储存状况不良或基板制程上的问题发生氧化，而助焊剂无法去除时会造成沾锡不良，过二次锡或可解决此问题。

（4）助焊剂没喷到，造成原因为气压不稳定或不足或者喷嘴堵塞，致使喷涂不稳或不均匀而使基板部分没有沾到助焊剂。



(5) 吃锡时间不足或锡温不足会造成沾锡不良, 因为熔锡需要足够的温度及时间润湿, 通常焊锡温度应高于熔点温度 $50\sim 80^{\circ}\text{C}$, 沾锡总时间约 3s, 这是需要调整锡炉温度和焊接时间的。

2. 球焊

(1) 原因: 焊接或者板面温度低, 锡液来不及回流到锡炉导致球焊。

(2) 改善举措:

- ① 提高锡槽温度, 加长焊锡时间, 使多余的锡再回流到锡槽。
- ② 提高预热温度, 可减少基板沾锡所需热量, 增加助焊效果。
- ③ 改变助焊剂比重, 略为降低助焊剂比重, 这样可以提高基板温度。

3. 反润湿

(1) 原因: 由于被焊表面不可焊而导致锡液润湿后又收回的现象, 一般是元器件引脚表面镀层太薄被钎料溶蚀掉所致。

(2) 改善举措:

- ① 控制引脚镀层厚度。
- ② 焊接工艺上控制锡炉温度和焊接时间。

4. 焊盘污染

(1) 焊盘污染主要是指 SMT 点胶/刮胶工序红胶污染焊盘导致虚焊, 其原因是点胶/刮胶时红胶上焊盘, 贴片压力过大导致红胶被挤到焊盘上, 回流后维修贴片导致红胶污染焊盘。

(2) 改善举措:

- ① 严格控制 SMT 工序点胶/刮胶工艺防止点胶上焊盘。
- ② 控制贴片压力, 防止红胶被挤到焊盘上。
- ③ 回流后维修贴片的, 需将上焊盘的红胶清理干净。

5. 炉后掉贴片

炉后掉贴片主要原因及改善举措如下所述。

(1) 红胶与 PCB 阻焊层或者器件不兼容导致界面间黏附力不足, 改善方式为重新选择辅料或者优化辅料配方, 更改 PCB 绿油、元器件材料或者制造工艺优化。

(2) 红胶固化不够或者过固化导致波峰受热后黏附力下降, 改善方式为优化回流炉温使固化程度在 85% 左右。

(3) 单板变形导致红胶与单板界面应力剥离致使掉贴片, 改善方式是优化预热和焊接温度或者制作托盘防止。

(4) 贴片被锡炉刮掉, 该失效模式从贴片脱落方式可以看出, 改善方式为修正锡炉高度。

6. 漏焊

漏焊是指点胶/刮胶贴片焊端与 PCB 焊盘没有形成有效焊点, 其主要原因和改善举措如



下所述。

(1) 由于贴片间的相互影响导致的阴影效应以至于焊盘无法解除锡波或者接触时间短, 比如小器件在大器件的后边被遮挡, 改善方式是改变单板传送方向消除阴影方向, 增加波峰高度降低阴影效应的影响, 降低链速增加接触时间。

(2) 材料受潮或者本身含有气体受热后吹气将锡波吹开导致漏焊, 改善方式是对器件进行预烘烤。

(3) PCB 变形导致翘曲度增加使部分贴片无法接触锡波或者接触时间不够, 改善方式为优化炉温曲线减小变形, 制作托盘防止单板变形。

(4) 锡波过低或者传送速度过快导致接触时间不够, 改善方式是增加波高和降低传送速度。

(5) 高波喷嘴堵塞致特定器件无法接触锡波, 改善方式为清除锡渣对喷嘴进行保养。

7. 锡珠

锡珠指的是焊盘间的绝缘表面上分散的小的钎料颗粒, 通常直径不超过 1 mm, 阵列型连接器引脚间常见。

分析其原因及改善举措如下所述。

(1) PCB 在制造或存储中受潮, 改善方式为对光板进行预烘烤, 降低 SMT 到波峰的周转时间。

(2) 镀层和助焊剂不相容, 助焊剂选用不当, 改善方法是正确选用助焊剂。

(3) 阻焊层和助焊剂不相容, 改善方法是更换助焊剂或者对 PCB 的阻焊层材料进行限定。

(4) 助焊剂吸潮, 应更换助焊剂, 加强助焊剂管理, 避免存储和使用过程中吸潮。

(5) 漏涂助焊剂或者涂覆量不合适。

(6) 预热温度过低、时间过短导致助焊剂中的溶剂不易挥发, 残留的溶剂浸入波峰后温度会急剧升高, 溶剂剧烈挥发, 在熔融钎料内形成高压气泡, 爆喷后大量形成钎料珠。

8. 拉尖

拉尖大多发生在 PCB 铜箔电路的终端, PCB 经过波峰时, PCB 上的液态钎料下坠受到限制时就会出现拉尖。

其原因及改善举措如下所述。

(1) 基板的可焊性差, 焊盘氧化、污染, 此问题通常伴随着沾锡不良, 此问题应由基板可焊性去探讨, 可试由提升助焊剂比重来改善。

(2) 助焊剂量偏少导致润湿不良, 此种状况一般伴随着连锡, 可以加大助焊剂喷量来改善。

(3) 预热温度过高导致助焊剂过度挥发, 应降低预热温度。

(4) 预热温度过低导致助焊剂作用降低致润湿不良, 应提高预热温度。

(5) 基板变形导致部分焊点接触锡波时间不足, 应优化预热温度降低变形或者制作托盘防止托盘变形。

(6) 锡炉温度过低导致锡液流动性差, 应提高锡炉温度。

(7) 传送速度不合适, 焊接时间过长或者过短都会导致拉尖, 改善方式为优化传送速度。



(8) PCB 压波深度过大单板离开时脱锡时间过长导致拉尖, 降低压波深度来改善。

(9) 基板上金道 (PAD) 面积过大, 可用绿 (防焊) 漆线将金道分隔来改善, 原则上用绿 (防焊) 漆线在大金道面分隔成 $5\text{mm} \times 10\text{mm}$ 区块。

9. 虚焊

虚焊是指在连接接头的界面上未形成合适厚度的合金层 (IMC) 现象, 可以是没有形成合金层或者合金层太薄, 也可以是合金层太厚。

分析其原因及改善举措如下所述。

(1) 基体金属表面不洁净, 表面氧化或者被脏物、油脂、手汗渍等污染而导致表面可焊性差甚至不可焊。

(2) 外购的 PCB、元器件等可焊性不合格。

(3) 锡炉温度过高, 导致钎料与母材表面加速氧化而造成表面对液态钎料的附着力减小, 而且高温还熔蚀了母材的粗糙表面, 使毛细作用下降, 漫流性变差。

(4) 焊接过程中热量供给不足或者是与波峰接触时间过短, 改善方式是增加焊接温度和延长焊接时间。

(5) PCB 设计原因, 单个引脚连接铜箔层数太多导致焊接温度上不去, 应改善 PCB 设计减少焊接时热量的流失。

10. 连锡

连锡是不同焊点间通过钎料连接起来的现象, 也称为桥连。

形成连锡现象的本质是在 PCB 退出波峰时形成的剥离区的薄层钎料内部存在压力差, 在忽略桥连流动特性影响因素的情况下, 决定这种压力差是否存在及大小的是熔融钎料的表面张力, 以及在波峰剥离薄层区的最后剥离线上的那些微小曲率半径的线段。

分析其影响因素及改善举措如下所述。

(1) 波峰平整度差, 是导致波峰钎料浸入 PCB 后产生横向流动的根源; 而在波峰焊接过程中波峰中的横向流动和漩涡运动, 是导致密集型焊点群 (如多芯插座) 产生横向桥连和复合桥连现象的根本原因。

(2) 温度可以影响液体钎料的黏度, 也可以影响其表面张力, 温度升高熔融钎料的表面张力和黏度都会减小, 这有利于熔融钎料从 PCB 上的剥离, 然而温度过高, 熔融钎料氧化加剧, 液态钎料表面被一层氧化膜包裹, 其综合效果相当于表面张力增大、熔融钎料漫流性变差。此时薄层中的多余钎料不容易被拉回波峰, 也要形成连锡, 因此选择合适的焊接温度对消除桥连影响很大, 高了不行, 低了也不行。

(3) 相邻导线或焊盘间距的影响是显而易见的, 间距过近容易桥连。

(4) 基板吃锡时间不够、预热不足, 应调整链条传送速度、预热和锡炉温度。

(5) 助焊剂喷涂不良, 应调整助焊剂喷量。

(6) 基板进行方向与锡波配合不良, 应更改单板传送方向。

(7) 被污染的锡或积聚过多的氧化物被泵带上造成短路应清理锡炉或更进一步全部更新锡槽内的焊锡。



11. 针孔/火山孔

针孔和火山孔是指焊点上看得到的孔。针孔是在焊点上出现的小孔，针孔内部通常是空的，火山孔则是焊点内部空气完全喷出而形成的可看得到内部的大孔。

其形成原因和改善举措如下所述。

(1) 有机污染物：基板与零件引脚都可能产生气体而造成针孔或气孔，其污染源可能来自插件作业者或储存状况不佳造成，此问题较为简单只要用溶剂清洗即可。

(2) 基板有湿气：如使用较便宜的基板材质，或使用较粗糙的钻孔方式，在贯孔处容易吸收湿气，焊锡过程中受到高热蒸发出来而造成，解决方法是放在烤箱中 120℃ 烤 2h。

(3) 元器件面器件底部与焊盘贴合太紧导致通孔中气体只能从焊接面逸出，形成针孔或者火山孔，针对该原因的改善措施为器件底部加透锡板垫高器件。

(4) 电镀溶液中的光亮剂：使用大量光亮剂电镀时，光亮剂常与金同时沉积，遇到高温则挥发，特别是镀金时；改善举措是改用含光亮剂较少的电镀液。

12. 气孔

气孔是指焊点内部的孔，外观上看不到，通过切片才能发现，其形成原因是焊点或者通孔内气体还没来得及逸出，钎料已经凝固导致气体被封在焊点内形成气孔。改善方式如下所述。

(1) 预烘烤单板。

(2) 提高预热温度，使气体提前逸出。

(3) 降低传送速度，使气体在钎料凝固前逸出。

13. 绿油上有残锡

波峰焊焊接中有时会发现在防焊膜（绿油）上粘连钎料丝和微片。

分析其原因及改善举措如下所述。

(1) 基板制作时残留某些与助焊剂不能兼容的物质，再过热后软化产生黏性黏着焊锡形成锡丝，可用清洗剂清洗来验证，若清洗后还是无法改善，则有基板层材固化不正确的可能，本项事故应及时回馈给基板供货商。

(2) 不正确的基板固化会造成此现象，可在插件前先行烘烤 120℃ 两小时，本项事故应及时回馈给基板供货商。

(3) 锡渣被泵打入锡槽内再喷流出来而造成基板面沾上锡渣，此问题较为单纯，良好的锡炉维护，锡槽正确的锡面高度（一般正常状况下，当锡槽不喷流静止时，锡面离锡槽边缘 10mm 高度）。

14. 板面脏污

板面脏污通常是指焊接面有除了钎料和助焊剂残留以外的其他残留物。

分析其原因及改善举措：锡渣被泵打入锡槽内再喷流出来而造成基板面沾上锡渣和锡灰。改善此问题较为单纯，锡炉保证良好的维护，锡槽保证正确的锡面高度（一般正常状况下，当锡槽不喷流静止时，锡面离锡槽边缘 10 mm 高）。



15. 锡量不足

锡量不足是指焊点形状干瘪、锡量偏少的现象,形成原因脱离锡波时焊点上锡被锡炉拉回,其原因如下所述。

- (1) 焊盘可焊性不良造成润湿不良,导致焊盘上没有形成合金层,锡液被拉回。
- (2) 锡波形状不合适,造成脱离锡波时锡液被拉回。

16. 通孔透锡不良

通孔透锡不良是指通孔透锡高度偏低不符合要求,其表现形式有以下几种。

(1) 焊盘及孔壁润湿良好、引线可焊性不良所导致的透孔不良现象,特征是钎料对焊盘及孔壁润湿角很小,而对引线的润湿角很大,孔隙内钎料液面成倒“八”字形。

(2) 引线润湿良好、焊盘及孔壁可焊性不良导致的透孔不良现象,特征是钎料对引线润湿角很小,而对焊盘及孔壁润湿角很大,空隙内钎料液面成正“八”字形。

(3) 引线、焊盘及孔壁可焊性均不良所导致的透锡不良现象,特征是钎料对引线、焊盘及孔壁的润湿角均很大,焊角及孔隙内钎料液面均成凸面形。

(4) 由于波峰焊焊接过程中热量供给不足(夹送速度过快、钎料槽温度偏低)或助焊剂在喷雾中未透到孔中所造成的透锡不良,其特征是孔隙中液面成凸面形。

(5) 波峰焊焊接中热量供给合适,但是由于 PCB 浸入钎料波峰太浅造成透锡不良,其特征是孔隙内液面成凹面形。

根据以上不同的透锡不良情况,其改善和预防措施如下所述。

- (1) 针对(1)、(2)、(3)的情况,要保证物料的可焊性合格或者使用活性更强的助焊剂。
- (2) 针对(4)的情况是提高预热和焊接温度,降低传送速度或者优化助焊剂喷涂参数。
- (3) 针对(5)的情况,需要将波峰高度增加到合适水平。
- (4) 保持偏小的孔间隙,孔的直径与引线直径的差值要合适。
- (5) 钎料波峰面上滞留的氧化物有阻碍液态钎料对基体金属润湿的作用,所以也就阻碍了液态钎料对空隙的填充性,从而构成了钎料对空隙填充不良的影响因素,需要及时维护锡炉清理氧化物。

17. 器件浮高

器件浮高是指插件在过锡波时被锡波冲击或者锡波浮力浮起所导致的器件翘高、歪斜现象,其改善和预防举措如下所述。

(1) 对于电阻、电容等两引脚需要成型的器件,可以通过成型间距的控制使其与焊盘孔形成干涉以固定器件,达到防止浮高的作用。

(2) 对于连接器类,可以通过 PCB 焊盘设计——边上的焊盘孔轻微偏位使焊盘孔与连接器引脚形成干涉,以达到固定连接器防止浮高的目的。

(3) 也可以通过制作工装固定器件以达到防止浮高的目的。

(4) 通过调整链速和波高,虽然也可以改善器件浮高,但是重复性较差,只能作为临时措施使用。



18. 焊点裂痕

焊点裂痕通常发生在无铅波峰中,是指焊点上的裂纹现象。其发生原理是焊接部分先于 PCB 冷却,而靠近 PCB 部分的焊点焊料仍然处于非固化(糊状)状态,金属冷却后收缩导致裂痕,其改善方式为:加快冷却速度。

19. 焊盘脱离

1) 4 种焊盘脱离类型

焊盘脱离通常发生在无铅焊接中,在基板、钎料、元器件引脚界面引起的剥离现象,从广义上讲,无铅波峰焊焊接工艺中发生的焊盘脱离现象和机械疲劳破裂而引起的剥离现象是不相同的。无铅焊接中所发生的焊盘脱离现象,可分为以下 4 种不同的类型。

(1) 角焊缝起翘剥离,此现象的特征是起翘,都是发生在焊盘和钎料相连接的界面上或附近。

(2) 焊盘剥离,焊盘剥离是发生在基材与焊盘之间的分离现象。

(3) 基材内部剥离,缺陷的特征是剥离发生在焊盘下的基材内部。

(4) 钎料和引脚间的剥离,在钎料和引脚之间分离的主要表现形式。

2) 原因

导致无铅焊接中焊盘脱离主要有下述几个原因。

(1) 材料间 CTE 严重不匹配。

(2) 含 Bi 合金的 Bi 偏析。

(3) 焊 Pb、Bi 等合金元素的 Pb、Bi 的偏析。

(4) 元器件引脚镀 Sn-Pb 焊盘脱离发生在元器件面,是由于 Pb 偏析所致。

(5) Sn-Ag-Cu 钎料合金中 Cu 含量对焊盘脱离的影响。

3) 改善举措

针对凝固中发生的首位缺陷的起翘现象的抑制对策,主要可归纳为以下几点。

(1) 采用单面基板。

(2) 不使用添加了 Bi、In 的合金。

(3) 不使用镀 Sn-Pb 的插入引脚元器件。

(4) 加快焊接的冷却速度。

(5) 慢冷却——冷却过程中在发生起翘前停止温度下降,即用退火的方法来降低起翘的发生率。

(6) 添加能使组织细化的合金元素。

(7) 阻止铜的热传导。

(8) 采用热收缩量小的基板材料。

(9) 注意基板的热传导设计。通过对基板的热传导设计,可以实现基板内热量的有效散失。

(10) 控制焊盘尺寸和波峰温度。焊盘直径大小对焊盘剥离率也有较大影响,当采取阻



焊膜定义焊盘时，其抑制率几乎可达到 100%。

20. PCB 起泡

PCB 起泡是指 PCB 阻焊层（绿油）与基材剥离的现象。

分析其原因如下所述。

- (1) 绿油与 PCB 基材不匹配。
- (2) PCB 制造工艺失控。
- (3) 单板铜箔设计不合理。
- (4) 单板超期。

21. PCB 白斑

PCB 白斑是 PCB 内层分层现象，其形成主要原因介绍如下。

- (1) PCB 制造工艺失控。
- (2) 单板变形。

22. 助焊剂残留过多

助焊剂残留过多是指波峰焊焊接后焊接面助焊剂残留过多，其形成原因介绍如下。

- (1) 助焊剂喷涂量偏大。
- (2) 预热温度偏低导致助焊剂挥发不完全。

23. 热损坏

热损坏是指器件受热损坏，其原因和改善举措如下所述。

- (1) 器件塑胶部分受热后熔融变形，改善方式为降低锡炉温度。
- (2) 器件整体受热变形导致焊接不良或者不可接受，改善措施为适当降低预热和锡炉温度。
- (3) 器件受热冲击导致开裂损坏，改善方式为降低升温速率和锡炉温度。
- (4) 热敏元器件受热后损坏，其改善方式为适当降低预热和锡炉温度。

24. 金属熔蚀

金属熔蚀是指 PCB 焊盘或者器件引脚被钎料溶解的现象，其主要原因为锡炉温度过高或者浸入时间太长所致，改善方式为降低锡炉温度和提高传送速度。

25. 抖动焊点

焊点呈现紊乱痕迹的钎料，原因为过波峰后冷却时受了外力的影响，解决办法为消除外力作用（如夹送链的抖动现象）。

26. 二次融化

二次融化是指在 SMT 回流焊接的贴片重新熔融的现象，一般是指上表面的贴片重融。

二次融化形成的原因是波峰焊焊接时 PCB 上表面相关再流焊点钎料再熔,致使焊点变形、反润湿甚至脱焊。

在波峰焊焊接过程中,向 PCB 上表面的焊点传递热量的途径,以 BGA 为例,有以下 3 个途径。

- 途径 A: 由 PCB 的下表面向上表面通过 PCB 厚度进行传热。
- 途径 B: 通过导通孔,沿着导通孔与 BGA 焊点焊盘连接的导线轨迹进行传热。
- 途径 C: 通过安装在波峰焊机上面的预热器的对流和辐射传热。

因此焊接时应注意以下两点。

(1) 有铅焊接时,为防止 PCB 上面的 BGA、QFP 等细间距焊点出现上述问题,其上表面温度不应该超过 150℃。

(2) 无铅焊接时,对于 Sn-Ag-Cu 钎料,上表面再流焊点上的温度应小于 190℃。

具体的解决办法是针对上面所述的 3 种传热途径的一种或多种对策来降低传递给 BGA 焊点的热量。

① 在 BGA 或者 QFP 等封装的上面安装一个热屏蔽板,以防止波峰焊焊接设备中预热器的直接加热。可采用机械的方法将这些屏蔽板安装在波峰焊焊接的托板上。

② 利用钎料掩模覆盖 PCB 下面的导通孔。在 PCB 设计过程中,导通孔覆盖规则应成为可制造性设计的组成部分。

③ 采用非金属防护屏直接安装在 PCB 下表面与 BGA 封装定位区域的下面,以避免波峰接触 PCB 上的这些位置。还可以通过非金属指爪将波峰防护屏安装在波峰托板上。

5.4 选择性波峰焊焊接工艺

5.4.1 工艺原理

如图 5.26 所示,选择性波峰焊是将熔融的液态焊料,借助于泵的作用,通过喷嘴形成特定形状的焊料波,然后按照预先编好的程序对 PCB 上的插装器件进行逐个点焊或者拖焊而实现焊点焊接的过程。基本工艺工序可以分成 6 个主要部分,主要有:进板、涂布焊剂(含定位)、预热(含定位)、焊接(含定位)、冷却、出板。

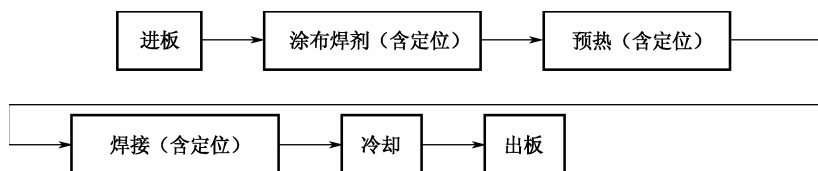


图 5.26 选择性波峰焊焊接的基本工艺工序

选择性波峰焊焊接中两个焊接工位的炉温曲线如图 5.27 所示。

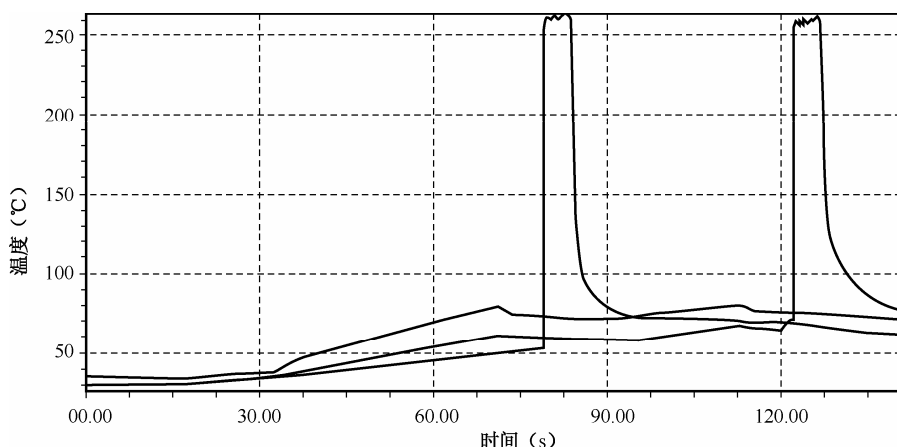


图 5.27 选择焊炉温曲线

6 个主要工艺制程的作用和原理介绍如下。

1. 进板

确保单板能在链条上稳定地传送并能稳定地定位在预定位置。要求是轨道的宽度能够稳定地处理 PCB 的宽度变化，过程不造成打滑、掉板、卡板故障。

2. 涂布焊剂

确保 PCB 底部焊接位置喷涂一定量和一定均匀度的助焊剂，因此控制程序和助焊剂喷涂系统的参数要控制得合适，包括喷嘴移动速度、定位、喷涂时间、喷涂气压和喷嘴阀门的大小。助焊剂的量要确保能充分去除基体金属表面的锈膜，防止金属的二次氧化和降低钎料的表面张力，保证通孔的透孔喷涂。

3. 预热

通过对单板的加热，促使助焊剂活性充分发挥，除去助焊剂中过多的挥发物来改善焊接质量，减小波峰焊焊接时对单板的热冲击，减小元器件的热劣化。预热必须达到一定的温度才能充分发挥助焊剂的作用，同时温度也不能太高，超出一定的温度则助焊剂提前挥发也将造成焊接缺陷。

4. 焊接

喷嘴按照预设程序对元器件逐个焊接，焊接过程要确保不出现漏焊，虚焊，连锡，拉尖等焊接缺陷，焊接时间过短容易出现漏焊和虚焊，喷嘴移动速度、收锡值和收锡时间不合适容易导致连锡和拉尖。

5. 冷却

单个焊点焊接完成即进入冷却阶段，冷却速度的大小对焊点质量有很大影响，整板焊接完成后离开焊接区后单板开始冷却。



6. 出板

确保将已焊接完成板稳定安全地送出设备，出板的过程也是单板的冷却过程。要求是轨道的宽度能够稳定的处理 PCB 的宽度变化，传送力度和速度适中，过程不造成掉板或卡板故障。

5.4.2 工艺参数

1. PCB 宽度/托盘宽度

PCB 宽度/托盘宽度指在设备运行时，PCB/托盘与设备对 PCB/托盘传送方向成直角方向（或泛指 Y 方向）的 PCB/托盘尺寸。如果 PCB 非正方形或长方形时，则指此方向的最大尺寸或最宽部位的尺寸（见图 5.21）。

良好的工艺要求波峰设备当 PCB 或者托盘在符合设备能力的条件下，无误地对每一块 PCB 进行顺畅的传送，没有打滑、掉板或卡板的故障情况。这是个属于设置属性的工艺参数，所以也要求每次设置后准确而无需调整。

2. PCB 长度/托盘长度

PCB 长度/托盘指在设备运行时，PCB/托盘与设备对 PCB/托盘传送同一方向（或泛指 X 方向）的 PCB/托盘尺寸。如果 PCB 非正方或长方形时，则指此方向的最大尺寸或最长部位的尺寸（见图 5.22）。

从工艺的角度来看，这个参数是属于限制类参数。此参数的限制在于波峰设备感应设置，非水平传送等的影响。产品的 DFM 必须遵从这个限制，该参数不是可调整的参数。

3. 双面板底部器件高度

双面板底部器件高度指在设备运行时，在 PCB 被喷涂助焊剂的一面上，延伸到与 PCB 垂直的方向上，器件所体现的最高高度，这个高度不是指单个器件的高度，而是指所有器件中的最高高度，也不是指器件本身的规格尺寸，而是指从底部 PCB 表面向下延伸的高度（见图 5.23）。

从工艺的角度来看，这是限制类参数。此参数的限制在于波峰设备的性能，产品的 DFM 必须遵从这个限制，超出了影响产品的加工路径。

4. PCB 翘曲度

PCB 垂直于 PCB 平面的变形程度。

从工艺的角度来看，这是个限制类参数。此参数的限制在于单板平稳传送和喷嘴高度设置的需要，波峰前制程导致变形过大，可能会导致卡板和喷嘴高度与板不匹配，波峰前需进行目视检验。

5. 传送边

传送边是为了单板能在设备中平稳进出而在 PCB 两平行边或者托盘两平行边上一定宽



度的传送部分，此参数在工艺上是限制的，如果 PCB 上没有传送边，则必须制作传送托盘。

6. 传送速度

传送速度是单板沿传送边方向在设备中的由一个工位传送到下一个工位的行进速度，此参数从工艺上是调制性质的，传送速度的大小会影响单板的定位，传送太快会导致单板与定位机构碰撞后后退导致定位不准。

7. 单板质量

通常指波峰设备能传送的单板的最大质量，是限制性参数，取决于链条、轨道和传送电动机所能承受的质量。

8. 助焊剂喷涂量

助焊剂喷涂量是单板单位面积黏附助焊剂的质量，此工艺参数是调制参数，喷涂量的多少将影响后边的焊接质量，太少则易出现连锡、虚焊、拉尖等缺陷，太多则形成残留影响单板外观和可靠性并且有可能掉落污染设备。

9. 助焊剂喷涂时间

助焊剂喷涂时间指的是点喷涂的时间，用于单点焊接的器件的助焊剂喷涂，时间长短决定了喷涂量和通孔透孔喷涂的程度。

10. 助焊剂拖喷速度

助焊剂拖喷速度指的是喷嘴连续喷涂时的移动速度，比如连接器引脚的喷涂，移动速度决定了喷涂量和通孔透孔喷涂的程度。

11. 喷嘴移动速度（未喷时）

喷嘴移动速度指助焊剂喷涂时从一个喷涂单元移到另一个喷涂单元的喷嘴移动速度，与喷涂效率有关，与焊接节拍匹配即可。

12. 助焊剂喷涂均衡度

助焊剂喷涂均衡度指单板不同位置助焊剂喷涂量的差异度，此参数目前不可控，在特定条件下也会影响焊接质量。

13. 活化温度区间

活化温度区间指预热阶段单板实际温度高于助焊剂活化温度的时间，是决定助焊剂作用的决定性参数。

14. 升温速率

升温速率是在预热阶段单板单位时间所升高的温度，升温速率是调制参数，其大小与设



备温度设置和单板热容量相关。

15. 预热温度均衡度

预热温度均衡度指单板不同区域预热温度的差异度，目前是可控的，与单板结构、设备都有关系，在 DFM 设计上不要出现低温区以避免假焊。

16. 喷嘴型号

喷嘴型号以喷嘴的外径和内径尺寸表示，根据引脚大小、焊接形式和单板设计决定喷嘴的型号，一般大引脚选用大的喷嘴，拖焊适当选大的引脚。小喷嘴的稳定性和抗氧化性要差一些。

17. 波峰温度

波峰温度指波峰焊锡炉中锡液的温度，是调制参数，是影响焊接质量的重要影响因素，太低易导致虚焊和假焊，对拖焊的效果也有影响。另外，需要考虑对单板的热冲击和喷嘴的氧化，需要根据不同单板进行调试。

18. 顶部预热温度

在选择焊的过程中对单板进行保温，防止喷嘴焊接时对单板的热冲击。

19. 焊接时间

选择焊焊接时间指的是点焊时锡波与引脚的接触时间，根据器件可焊性、引脚大小和单板设计而定，是单个焊点焊接质量的重要影响因素。

20. 喷嘴移动过程中高度

喷嘴移动过程中高度指喷嘴从一个焊接单元移到下一个焊接单元过程中喷嘴的高度，是限制性参数，取决于底部器件的高度。

21. 拖焊速度

拖焊速度是调制参数，是连续焊接时的喷嘴移动速度，可以根据喷嘴与单板的接触面积与拖焊速度算出单个焊点的焊接时间，拖焊速度对拖焊焊点的形成，焊点间是否连锡有很大影响。

22. 焊接时喷嘴上升高度

焊接时喷嘴上升高度决定了焊接时喷嘴与引脚及焊盘的接触程度，对焊接时间和透锡度以及拖焊的效果都有一定程度的影响。

23. 喷嘴移动速度（Z 方向）

喷嘴移动速度（Z 方向）指喷嘴上升和下降的速度。



24. 收锡值

收锡值指的是喷嘴收锡时的波峰高度，收锡高度高波峰平稳可以防止喷嘴的氧化。

25. 收锡时间

收锡时间是指锡波从焊接状态到收锡状态所用的时间，合适的收锡时间可以避免连锡和拉尖的产生。

26. 波峰高度

波峰高度主要是指波峰液面高出喷嘴的高度，对透锡度和拖焊焊接有重要影响。

27. 喷嘴移动速度（X-Y方向，未焊时）

喷嘴移动速度指喷嘴从一个焊接单元移到下一个焊接单元时在 X-Y 方向的移动速度。

28. 冷却速率

冷却速率指单板离开焊接单元后单位时间温度下降的幅度，对单板有一定的热冲击，目前是自然冷却。

5.4.3 选择性波峰焊焊接工艺窗口调制

在调制新产品的选择性波峰焊焊接工艺时，需要按照图 5.28 所示的建议流程。

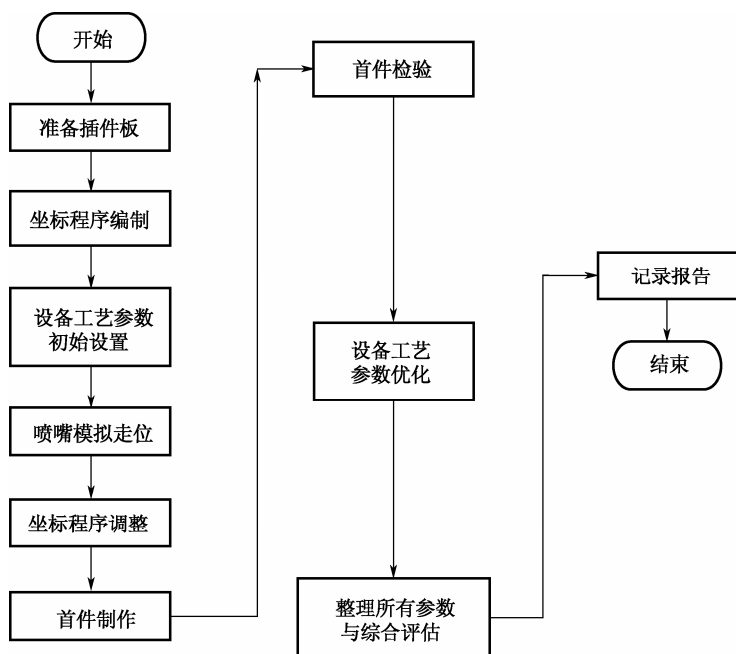


图 5.28 选择性波峰焊焊接工艺窗口调制流程



上述流程确保调制顺序的科学性。其中个别工作，如个别参数特性的调制、初始参数的设置等参考故障解决的相关做法。

在常规的操作下，新产品的各个参数的调整建议由初始参数开始。如果有十分类似的产品经验，也可以由工艺工程师决定从该类似产品的经验值开始。在批量生产中，参数的调制是用来处理因设备或材料的变化或漂移指标造成的工艺问题，以下是各个参数的具体调制方法。

1. PCB 宽度/托盘宽度

对于新的单板，先用毫米钢尺测量 PCB 或者根据托盘上的标准的宽度通过手工摇柄或者设备自动设置，然后根据实际的传送情况进行微调。

对于宽度超过一定数值的单板，为了防止单板过度变形也需要制作托盘传送。

2. PCB 长度

PCB 长度参数不可控，但是需要限制，是限制性参数。

3. 双面板底面器件高度

双面板底面器件高度是限制性参数，主要由锡炉和喷嘴的结构决定。

4. PCB 翘曲度

PCB 翘曲度参数不可控，但是可以通过工装改进单板翘曲度。

5. 传送边

传送边参数是限制性参数，没有预留传送边的单板必须制作托盘传送。

6. 传送速度

传送速度是调制参数，也是设置参数，传送速度主要影响单板的准确定位，因为单板定位是机械定位，单板传送速度过快时会撞到定位装置后反弹导致定位不准，一般情况下传送速度调制后会转变为设置参数。

7. 单板质量

单板质量是限制性参数，受设备本身能力限制，不能超出设备能承受的最大值。

8. 助焊剂喷涂量

助焊剂喷涂量是调制性参数，通过设备控制计算机调制，调制时以 5% 的间隔进行调制。

9. 助焊剂喷涂时间

助焊剂喷涂时间主要是指点喷的时间，通过设备控制计算机调制，以 0.1 s 为间隔进行调制。



10. 助焊剂拖喷速度

助焊剂拖喷速度是指拖喷时喷嘴的移动速度,通过设备控制计算机以 1 mm/s 的速度间隔进行调制。

11. 喷嘴移动速度(未喷时)

助焊剂喷嘴移动速度(未喷时)是指从一个喷涂位置移动到下一个喷涂位置的速度,此参数是调制参数,一般统一设置为一个值,调制时以 20 mm/s 进行调制。

12. 助焊剂喷涂均衡度

助焊剂喷涂均衡度在选择焊中不是一个关键参数,实际上反而可以根据焊点大小进行不同喷涂量的设置,其调制方法参照助焊剂喷涂量调制。

13. 活化温度区间

活化温度区间可通过加热器加热功率和预热时间来调制。

14. 升温速率

升温速率可以通过加热器加热功率来调制。

15. 预热温度均衡度

预热温度均衡度主要影响单板的变形,目前是可控的,要保证单板上热量需求最大的焊点的焊接质量。

16. 喷嘴型号

喷嘴型号要根据引脚的大小来选择,一般大的引脚选用直径大的喷嘴,同样的引脚,拖焊时选择的喷嘴要比点焊时的直径大。

17. 波峰温度

波峰温度是调制参数,初始参数可以根据经验设置,调制时以 3℃ 为间隔进行调整。

18. 顶部预热温度

顶部预热温度是调制温度,对焊接单板起保温作用,顶部预热时间与焊接时间一致,预热温度的设置与焊接时间存在一定关系,焊接时间长预热温度设置要适当高些,反之则低些。

19. 焊接时间

焊接时间主要是指点焊时间,热容量大的器件焊接时间要适当加长,调制时以 0.5 s 为间



隔进行调制。

20. 喷嘴移动过程中高度

喷嘴移动过程中高度取决于板底器件的高度，要保证喷嘴移动过程中不撞到板底器件。

21. 拖焊速度

拖焊速度影响拖焊焊点的焊接时间和脱锡情况，对拖锡焊点的焊接质量和焊点间连锡有很大影响，是调制参数，调制时以 0.5mm/s 的间隔进行调制。

22. 焊接时喷嘴上升高度

焊接时喷嘴上升高度是调制参数，可根据引脚伸出 PCB 的长度设置，原则上不能碰到引脚，调制时以 0.5mm 为间隔进行调整。

23. 喷嘴移动速度（Z 方向）

喷嘴移动速度（Z 方向）要保证锡波的稳定性，对于伸出引脚长的焊点上升速度应适当减慢，防止冲击造成器件浮高，调制时以 2~3 mm/s 的间隔调整。

24. 收锡值

收锡值主要是保证焊接完成后锡收回喷嘴，是调制性参数，初始设置为 1%，参数调制时以 5% 的间隔调整。

25. 收锡时间

收锡时间对拉尖和连锡有很大影响，因此不同引脚大小会不同，参数调制时以 0.5 s 为间隔进行调整。

26. 波峰高度

波峰高度对通孔透锡度和拖焊的质量有很大影响，需配合喷嘴高度进行调整，根据实际调整幅度不一致，当高度与目标差距大时，调整幅度可以加大，当与目标差距比较小时，调整幅度需减小。

27. 喷嘴移动速度（X-Y 方向，未焊时）

喷嘴移动速度要保证喷嘴和波峰的稳定性，调制时以 10 mm/s 的间隔调整。

5.4.4 选择性波峰焊焊接故障模式、原理和解决方法

选择焊工艺共有 23 种故障模式，表 5.5 列出了各种故障模式的名称和定义。



表 5.5 选择焊接故障模式

序 号	故 障 模 式	定 义
1	沾锡不良	焊盘或者引脚只有一部分沾上锡，其余部分则没锡
2	球焊（焊点肥胖）	在焊点上形成锡球包住整个焊点
3	收锡（反润湿）	锡液润湿引脚或者焊盘后又缩回的现象
4	烫掉贴片	喷嘴将贴片烫掉的情形
5	漏焊（接触时间不够）	引脚或者焊端由于没有接触锡波或者接触时间不够导致的没有焊接的情况
6	锡珠	板面上存在小的锡珠，通常直径不超过 1mm（绿油 and 助焊剂兼容性）
7	拉尖	在焊点形成冰尖状锡
8	虚焊	弱焊（IMC 太厚，外观看不出）、假焊（IMC 没有形成，太薄，冷焊/污染）
9	连锡	不同焊点间存在焊锡连接现象
10	针孔/火山口	焊点上的小孔（针孔），内部气体吹出的火山口（大）
11	气孔（内部孔）	焊点内的较大孔（外观看不到）
12	绿油上有残锡（锡皮）	绿油上残留锡渣、锡丝
13	锡量不足	锡被拉回锡炉导致焊点锡量不足
14	通孔透锡不良	通孔爬锡高度不足
15	器件浮高	器件被锡波浮力浮起导致翘高、歪斜
16	焊点裂痕	焊点上的微小裂痕（无铅常见）
17	焊盘脱离	焊盘与 PCB 或者焊点分离现象（无铅常见）
18	PCB 起泡	绿油与铜箔或者 PCB 基材分离现象
19	PCB 白斑	PCB 内层分离导致的白斑现象
20	助焊剂残留物过多	助焊剂残留过多
21	热损坏	器件受热导致变形、热熔
22	金属溶蚀	焊盘或者引脚被锡波溶蚀现象
23	撬动焊点	焊点呈现紊乱痕迹的钎料

各种故障的成因介绍如下。

1. 沾锡不良

分析其原因及改善方式如下所述。

（1）外界的污染物如油、脂、蜡等，此类污染物通常可用溶剂清洗，此类油污有时是在印刷防焊剂时沾上的。

（2）Silicon Oil 通常用于脱模及润滑之用，通常会在基板及零件引脚上发现，而 Silicon Oil 不易清理，因以用它要非常小心尤其是当它作抗氧化油时常会发生问题，因它会蒸发沾在基板上而造成沾锡不良。

（3）常因储存状况不良或基板制程上的问题发生氧化，而助焊剂无法去除时会造成沾锡不良，过二次锡或可解决此问题。

（4）助焊剂没喷到，造成原因为气压不稳定或不足或者喷嘴堵塞，致使喷涂不稳或不均匀而使基板部分没有沾到助焊剂。

（5）吃锡时间不足或锡温不足会造成沾锡不良，因为熔锡需要足够的温度及时间润湿，通常焊锡温度应高于熔点温度 50~80℃，沾锡总时间约 3 s，这时需要调整锡炉温度和焊接



时间。

2. 球焊

分析其原因及改善方式如下所述。

(1) 原因：焊接或者板面温度低，锡液来不及回流到锡炉导致球焊。

(2) 改善方式：

- ① 提高锡槽温度，加长焊锡时间和收锡时间，使多余的锡再回流到锡槽。
- ② 提高预热温度，可减少基板沾锡所需热量，增加助焊效果。
- ③ 改变助焊剂比重，略微降低助焊剂比重，这样可以提高基板温度。

3. 收锡（反润湿）

分析其原因及改善方式如下所述。

(1) 原因：由于表面镀层被熔蚀而内层不可焊导致锡液润湿后又收回的现象，一般是元器件引脚表面镀层太薄被钎料熔蚀所致。

(2) 改善方式：

- ① 控制引脚镀层厚度。
- ② 焊接工艺上适当降低锡炉温度和焊接时间。

4. 烫掉贴片

(1) 原因：

- ① 喷嘴移位或者坐标有误导致焊接时烫到贴片。
- ② 单板定位不准导致喷嘴烫掉贴片。

(2) 改善方式：

- ① 重新修改喷嘴坐标。
- ② 调整轨道宽度和传送速度使单板定位准确。

5. 漏焊

漏焊是指插件引脚与 PCB 焊盘没有形成有效焊点，其主要原因和改善方式如下所述。

(1) 喷嘴坐标偏移导致锡波与引脚和焊接接触不充分，此时应调整坐标使喷嘴对准焊盘和引脚。

(2) 锡波高度或者喷嘴偏低导致锡波与引脚和焊盘接触不充分，此时应调整锡波高度和喷嘴 Z 轴高度。

6. 锡珠

锡珠指的是焊盘间的绝缘表面上分散的小的钎料颗粒，通常直径不超过 1 mm，阵列型连接器引脚间常见。

分析其原因及改善方式如下所述。

(1) PCB 在制造或存储中受潮，改善方式为对光板进行预烘烤，降低 SMT 到波峰的周



转时间。

- (2) 镀层和助焊剂不相容, 助焊剂选用不当。应正确选用助焊剂。
- (3) 阻焊层和助焊剂不相容。应更换助焊剂或者对 PCB 的阻焊层材料进行限定。
- (4) 助焊剂吸潮后, 应更换助焊剂, 加强助焊剂管理, 避免存储和使用过程中吸潮。
- (5) 漏涂助焊剂或者涂覆量不合适。

7. 拉尖

拉尖大多发生在点焊和拖焊的尾部, PCB 上的液态钎料下坠受到限制时就会出现拉尖。分析其原因及改善方式如下所述。

(1) 基板的可焊性差, 焊盘氧化、污染, 此问题通常伴随着沾锡不良, 应由基板可焊性去探讨, 可试用提升助焊剂比重或者使用活性高的助焊剂来改善。

(2) 助焊剂量偏少导致润湿不良, 此种状况拖焊时一般伴随着连锡, 可用加大助焊剂喷量来改善。

(3) 预热温度过高导致助焊剂过度挥发, 此时应降低预热温度。

(4) 预热温度过低导致助焊剂作用降低致润湿不良, 此时应提高预热温度。

(5) 基板变形导致部分焊点接触锡波时间不足, 此时应优化预热温度降低变形或者制作托盘防止托盘变形。

(6) 氮气量不足或者氮气通道损坏导致拉尖, 此时一般会 100%拉尖, 可以通过不同锡炉对比查找原因, 改善方式为恢复氮气正常供应。

(7) 收锡时间设置不当, 此时应调整收锡时间使焊点脱锡良好。

(8) 波高或者喷嘴高度不足导致引脚和焊盘受热不足致拉尖, 此时应调整波高和喷嘴高度。

(9) 拖焊时拖焊速度太快致拉尖, 此时应降低拖焊速度。

(10) 喷嘴过度氧化导致锡流不畅致拉尖, 此时应保养清理喷嘴去除多余氧化物。

8. 虚焊

虚焊是指在连接接头的界面上未形成合适厚度的合金层 (IMC) 现象, 可以是没有形成合金层或者合金层太薄, 也可以是合金层太厚。

分析其原因及改善方式如下所述。

(1) 基体金属表面不洁净, 表面氧化或者被脏物、油脂、手汗渍等污染而导致表面可焊性差甚至不可焊。

(2) 外购的 PCB、元器件等可焊性不合格。

(3) 锡炉温度过高, 导致钎料与母材表面加速氧化而造成表面对液态钎料的附着力减小, 而且高温还熔蚀了母材的粗糙表面, 使毛细作用下降, 漫流性变差。

(4) 焊接过程中热量供给不足或者是与波峰接触时间过短, 改善方式是增加焊接温度和延长焊接时间。

(5) PCB 设计原因, 单个引脚连接铜箔层数太多导致焊接温度上不去, 此时应改善 PCB 设计减少焊接时热量的流失。

(6) 喷嘴过度氧化导致锡量不足致虚焊, 此时应保养清理喷嘴去除多余氧化物。



9. 连锡

连锡是不同焊点间通过钎料连接起来的现象，也称为桥连。

形成连锡现象的本质是在 PCB 退出波峰时形成的剥离区的薄层钎料内部存在压力差，在忽略桥连流动特性影响因素的情况下，决定这种压力差的存在和大小是熔融钎料的表面张力，以及在波峰剥离薄层区的最后剥离线上存在的那些微小的曲率半径的线段。

分析其影响因素及改善方式如下所述。

(1) 波峰抖动。

(2) 温度可以影响液体钎料的黏度，也可以影响其表面张力，温度升高熔融钎料的表面张力和黏度都会减小，这有利于熔融钎料从 PCB 上的剥离，然而温度过高，熔融钎料氧化加剧，液态钎料表面被一层氧化膜包裹，其综合效果相当于表面张力增大、熔融钎料漫流性变差。此时薄层中的多余钎料不容易被拉回波峰，也要形成连锡，因此选择合适的焊接温度对消除桥连影响很大，高了不行，低了也不行。

(3) 相邻导线或焊盘间距的影响，间距的影响是显而易见的，间距过近容易桥连。

(4) 基板吃锡时间不够、预热不足，调整拖焊速度、预热。

(5) 助焊剂喷涂不良，调整助焊剂喷量和喷涂位置。

(6) 收锡时间不当导致脱锡不良致连锡，此时应调整收锡时间。

(7) 喷嘴过度氧化导致锡流不畅造成连锡，此时应保养清理喷嘴去除多余氧化物。

10. 针孔/火山口

针孔和火山孔是指焊点上看得到的孔。针孔是在焊点上出现的小孔，针孔内部通常是空的，火山口则是焊点内部空气完全喷出而形成的可看得到内部的大孔。

其形成原因和改善措施如下所述。

(1) 有机污染物：基板与零件引脚都可能产生气体而造成针孔或气孔，其污染源可能来自插件作业者或储存状况不佳造成，此问题较为简单只要用溶剂清洗即可。

(2) 基板有湿气：如使用较便宜的基板材质，或使用较粗糙的钻孔方式，在贯孔处容易吸收湿气，焊锡过程中受到高热蒸发出来而造成，解决方法是放在烤箱中 120℃ 烤 2 h。

(3) 元器件面器件底部与焊盘贴合太紧，导致通孔中气体只能从焊接面逸出，形成针孔或者火山口，针对该原因的改善措施为器件底部加透锡板垫高器件。

(4) 电镀溶液中的光亮剂：使用大量光亮剂电镀时，光亮剂常与金同时沉积，遇到高温则挥发，特别是镀金时；改善举措是改用含光亮剂较少的电镀液。

11. 气孔

气孔是指焊点内部的孔，外观上看不到，通过切片才能发现，其形成原因和改善措施是焊点或者通孔内气体还没来得及逸出，钎料已经凝固导致气体被封在焊点内形成气孔，改善方式如下所述。

(1) 预烘烤单板。

(2) 提高预热温度，使气体提前逸出。

(3) 增加焊接时间，使气体在钎料凝固前逸出。



12. 绿油上有残锡

波峰焊焊接中有时会发现在防焊膜（绿油）上粘连钎料丝和微片。

分析其原因及改善方式如下所述。

（1）基板制作时残留某些与助焊剂不能兼容的物质，再过热后软化产生黏性黏着焊锡形成锡丝，可用清洗剂清洗来验证，若清洗后还是无法改善，则有基板层材固化不正确的可能，本项事故应及时回馈给基板供货商。

（2）不正确的基板固化会造成此现象，可在插件前先行烘烤 120℃ 两小时，本项事故应及时回馈给基板供货商。

（3）氮气供应不足，喷嘴和锡液氧化严重，锡渣增多导致板面残留锡渣，此时应检查和及时维修氮气供应系统。

13. 锡量不足

锡量不足是指焊点形状干瘪、锡量偏少的现象，形成原因脱离锡波时焊点上锡被锡炉拉回，其原因和改善方式如下所述。

（1）焊盘可焊性不良造成润湿不良导致焊盘上没有形成合金层锡液被拉回。

（2）焊接时间，收锡值和收锡时间不当导致焊点上的锡被锡波拉回，此时应调整焊接时间、收锡值和收锡时间以改善锡量不足。

14. 通孔透锡不良

通孔透锡不良是指通孔透锡高度偏低不符合要求或者偏高透到了单板的另一面。

（1）透锡高度偏低的表现形式有以下几种。

① 焊盘及孔壁润湿良好、引线可焊性不良所导致的透孔不良现象，特征是钎料对焊盘及孔壁润湿角很小，而对引线的润湿角很大，孔隙内钎料液面成倒“八”字形。

② 引线润湿良好、焊盘及孔壁可焊性不良导致的透孔不良现象，特征是钎料对引线润湿角很小，而对焊盘及孔壁润湿角很大，空隙内钎料液面成正“八”字形。

③ 引线、焊盘及孔壁可焊性均不良所导致的透锡不良现象，特征是钎料对引线、焊盘及孔壁的润湿角均很大，焊角及孔隙内钎料液面均成凸面形。

④ 由于波峰焊焊接过程中热量供给不足（夹送速度过快、钎料槽温度偏低）或助焊剂在喷雾中未透到孔中所造成的透锡不良，其特征是孔隙中液面成凸面形。

⑤ 波峰焊焊接中热量供给合适，但是由于波高或者喷嘴高度不足导致通孔浸锡深度不够，其特征是孔隙内液面成凹面形。

（2）根据以上不同情况的透锡不良情况，其改善和预防措施介绍如下。

① 针对①、②、③的情况，要保证物料的可焊性合格或者使用活性更强的助焊剂。

② 针对④的情况是提高预热和焊接温度，降低传送速度或者优化助焊剂喷涂参数。

③ 针对⑤的情况，需调整波高和喷嘴高度保证浸锡深度。

④ 保持偏小的孔间隙及孔的直径与引线直径的差值要合适。

透锡偏高导致翻锡主要原因是波高太高导致锡液翻到了单板的另一面，此时应降低波高和喷嘴高度保证合适透锡即可。



15. 器件浮高

器件浮高是指插件在焊接锡波浮力浮起所导致的器件翘高、歪斜现象，其改善和预防方式如下所述。

(1) 对于电阻，电容等两引脚需要成型的器件，可以通过成型间距的控制使其与焊盘孔形成干涉以固定器件达到防止浮高的作用。

(2) 对于连接器类，可以通过 PCB 焊盘设计——边上的焊盘孔轻微偏位使焊盘孔与连接器引脚形成干涉以达到固定连接器防止浮高的目的。

(3) 也可以通过制作工装固定器件以达到防止浮高的目的。

(4) 通过调整链速和波高，虽然也可以改善器件浮高，但是重复性较差，只能作为临时措施使用。

16. 焊点裂痕

焊点裂痕通常发生在无铅波峰中，是指焊点上的裂纹现象。其发生原理是焊接部分先于 PCB 冷却，而靠近 PCB 部分的焊点焊料仍然处于非固化（糊状）状态，金属冷却后收缩导致裂痕，其改善方式为：加快冷却速度。

17. 焊盘脱离

(1) 焊盘脱离通常发生在无铅焊接中，在基板、钎料、元器件引脚界面引起的剥离现象，从广义上讲，无铅波峰焊焊接工艺中发生的焊盘脱离现象和机械疲劳破裂而引起的剥离现象是不相同的。无铅焊接中所发生的焊盘脱离现象，可分为 4 种不同的类型。

① 角焊缝起翘剥离，此现象的特征是起翘，发生在焊盘和钎料相连接的界面上或附近。

② 焊盘剥离，焊盘剥离是发生在基材与焊盘之间的分离现象。

③ 基材内部剥离，其特征是剥离发生在焊盘下的基材内部。

④ 钎料和引脚间的剥离，这是在钎料和引脚之间分离的主要表现形式。

(2) 导致无铅焊接中焊盘脱离主要有下述几个原因。

① 材料间 CTE 严重不匹配。

② 含 Bi 合金的 Bi 偏析。

③ 焊 Pb、Bi 等合金元素的 Pb、Bi 的偏析。

④ 元器件引脚镀 Sn-Pb 焊盘脱离发生在元器件面，是由于 Pb 偏析所致。

⑤ Sn-Ag-Cu 钎料合金中 Cu 含量对焊盘脱离的影响。

(3) 针对凝固中发生的首位缺陷的起翘现象的抑制对策，主要可归纳为以下几点。

① 采用单面基板。

② 不使用添加了 Bi、In 的合金。

③ 不使用镀 Sn-Pb 的插入引脚元器件。

④ 加快焊接的冷却速度。

⑤ 慢冷却——冷却过程中在发生起翘前停止温度下降，即用退火的方法来降低起翘的发生率。



- ⑥ 添加能使组织细化的合金元素。
- ⑦ 阻止铜的热传导。
- ⑧ 采用热收缩量小的基板材料。
- ⑨ 注意基板的热传导设计。通过对基板的热传导设计,可以实现基板内热量的有效散失。
- ⑩ 控制焊盘尺寸和波峰温度。焊盘直径大小对焊盘剥离率也有较大影响,当采取阻焊膜定义焊盘时,其抑制率几乎可达到 100%。

18. PCB 起泡

PCB 起泡是指 PCB 阻焊层(绿油)与基材剥离的现象。

分析其原因及改善方式如下所述。

- (1) 绿油与 PCB 基材不匹配。
- (2) PCB 制造工艺失控。
- (3) 单板铜箔设计不合理。
- (4) 单板超期。
- (5) 焊接时间过长,焊接温度过高,此时应适当降低焊接温度和焊接时间。

19. PCB 白斑

PCB 白斑是 PCB 内层分层现象,其形式主要原因介绍如下。

- (1) PCB 制造工艺失控。
- (2) 单板变形。
- (3) 焊接时间过长,焊接温度过高,此时应适当降低焊接温度和焊接时间。

20. 助焊剂残留过多

助焊剂残留过多是指波峰焊焊接后焊接面助焊剂残留过多,其形成原因介绍如下。

- (1) 助焊剂喷涂量偏大。
- (2) 预热温度偏低导致助焊剂挥发不完全。

21. 热损坏

热损坏是指器件受热损坏,其原因和改善方式如下所述。

- (1) 器件塑胶部分受热后熔融变形,改善方式为降低锡炉温度。
- (2) 器件整体受热变形导致焊接不良或者不可接受,改善措施为适当降低预热和锡炉温度。
- (3) 器件受热冲击导致开裂损坏,降低升温速率和锡炉温度。
- (4) 热敏元器件受热后损坏,其改善方式为适当降低预热和锡炉温度。

22. 金属熔蚀

金属熔蚀是指 PCB 焊盘或者器件引脚被钎料溶解的现象,其主要原因为锡炉温度过高或者浸入时间太长所致,改善方式为降低锡炉温度和提高传送速度。



23. 撬动焊点

焊点呈现紊乱痕迹的钎料，原因为过波峰后冷却时受了外力的影响，解决办法为消除外力作用（如夹送链的抖动现象）。

5.5 再流焊接工艺

再流焊接工艺主要是通过热风或红外线对 PCBA 及焊膏的加热实现机械与电的连接。

5.5.1 再流焊接机理

如图 5.29 所示，再流焊接制程可以分成 6 个主要过程，分别为进板、升温、预热、焊接、冷却和出板。



图 5.29 再流焊接的基本工艺工序

具体设备的运作过程如图 5.30 所示。

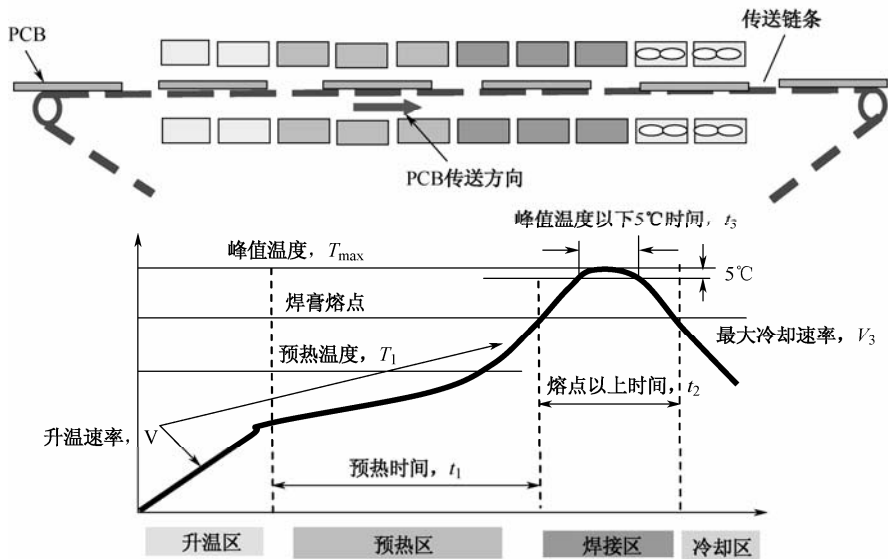


图 5.30 再流焊接工艺原理

6 个主要工艺制程的作用和原理介绍如下。

1. 进板

确保将贴好元器件的 PCB 安全、平稳地通过炉膛完成焊接。要求链条轨道的宽度各处一样，以确保 PCBA 在再流焊接时不卡板、不掉板、不振动。



2. 升温

再流焊接的第二步就是将要焊接的 PCBA 快速升温。升温的目的是将 PCBA 的温度迅速提升到焊接开始活化的温度。

升温速率是一个关键参数，升温的速度不能太快，否则很容易引起焊膏溅射，从而形成锡球不良缺陷。

3. 预热

预热是再流焊接比较重要的一个加热过程。

预热的目的主要有三个：

- ① 使焊剂中的大部分溶剂挥发。
- ② 使焊剂活化，去除被焊接面的氧化物。
- ③ 使 PCBA 均温。这点很关键，通过比较长的预热保温，使 PCBA 以及上面的大尺寸 BGA 基本达到热平衡，以便在进入再流焊接区后不会形成大的温差，从而减少 PCB 的变形和 BGA 的变形。

预热温度 (T_1)、预热时间 (t_1) 是再流焊接的重要工艺参数。预热温度一般设置在焊膏熔点以下 20~30℃。

4. 焊接

焊接是再流焊接工序最重要的加热过程。

焊接的作用就是将 PCBA 上的焊点加热到焊膏熔点以上元器件耐温以下，以便形成焊点。

焊接峰值温度 (T_{\max})、焊膏熔点以上的加热时间 (t_2) 是再流焊接最重要的两个参数。

锡珠、立碑、元器件偏移、芯吸、焊剂飞溅、浸析、冷焊、虚焊、润湿不良、PCB 分层、元器件烧变形等缺陷，都发生在焊接阶段。

5. 冷却

冷却的目的是 PCBA 温度下降、焊点快速凝固。

冷却速率也是影响焊接质量的一个关键因素，如果过快或过慢，都会导致焊接不良的发生。理论上冷却速度越快，形成的焊点金相组织越细，焊点的强度越好。但是，如果冷却速度太快，焊点上将会产生比较大的内应力，像大尺寸 BGA 等，有可能发生焊点断裂现象。

6. 出板

确保将已焊接的 PCBA 稳定、安全地送出设备。

5.5.2 主要工艺参数

1. 预热温度

预热温度指温度曲线上预温区与焊接区温度曲线拐点处的温度，见图 5.30 中的 T_1 。



2. 预热时间

预热时间通常指温度曲线上升温结束到加热至焊膏熔点之间的时间。

3. 峰值温度

焊接峰值温度指温度曲线上最高的温度，见图 5.30 中的 T_{\max} 。

4. 峰值温度以下 5℃ 时间

焊接峰值温度以下 5℃ 时的时间。

5. 熔点以上时间

熔点以上时间指温度曲线上焊膏熔点以上的加热时间，见图 5.30 中的 t_2 。

6. 升温速率

升温速率指温度曲线上升温区温度曲线的上升斜率，即焊点的加热速度。

7. 最大冷却速率

最大冷却速率指温度曲线上从最高温度下降到 75℃ 的最大下降速度，通常用 “ $-x^{\circ}\text{C}$ ” 表示。

5.5.3 再流焊接工艺参数的调制

在常规的操作下，新产品的各个参数的调整建议由初始参数开始。如果有十分类似的产品经验，也可以由 $\times\times\times$ 工程师决定从该类似产品的经验值开始。在批量生产中，参数的调制是用来处理因设备或材料的变化或漂移指标造成的工艺问题。

工艺窗口由上、下限数值所定义，指该工艺参数如果设置在窗口以内时，工艺故障将不会出现或只以可以接受的程度出现。这是工艺调制时的基本参考，任何参数需要调制在窗口以外时，都必须经过授权工艺负责人的认可。

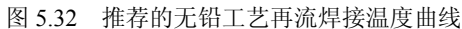
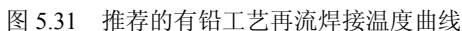
初始参数是建议的起点，使用在新产品或研究试验工作时，初始参数一般设在工艺窗口之内。在常规下是个合格但可能未优化的参数。提供调制工程师一个好的调制起点。

每个参数的优化点是根据该参数的漂移特性来决定的。漂移特性指参数是单向漂移或是双向漂移，是跳动式漂移或连续渐进式漂移。优化设置点的定义是工艺质量最小以及漂移最慢的设置点。

1. 工艺参数调制的依据

再流焊接工艺参数的调试，实际上就是再流焊机的温度设置调试（以下简称炉温设置）。

炉温设置的依据是再流焊接的温度曲线，而温度曲线主要根据焊膏特性与 PCBA 的工艺特性制定。公司推荐的温度曲线如图 5.31 至图 5.33 所示。



炉温设置,就是通过对再流焊接炉各温区的温度设置,使 PCBA 测试点温度符合制定的曲线。

① 在炉内给定的一点, 如果 PCBA 的温度低于炉温, 那么 PCBA 就将升温; 如果 PCBA 温度高于炉温, 那么 PCBA 就将降温; 如果 PCBA 的温度与炉温相同, 那么 PCBA 就将

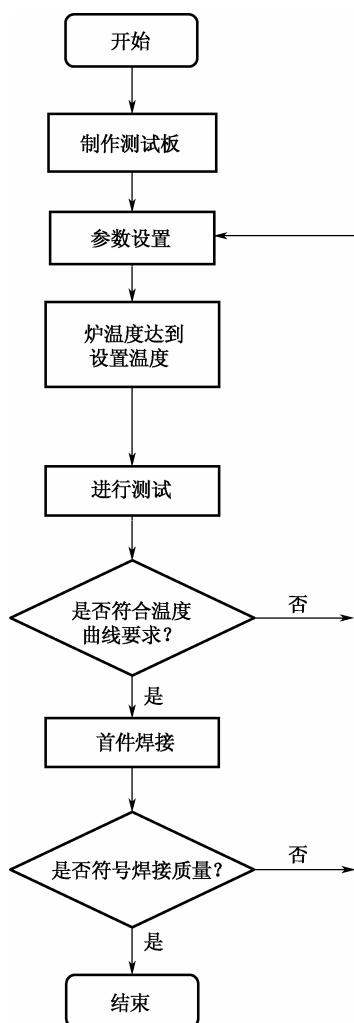
保持温度。

② 炉温与 PCBA 的温差越大，PCBA 温度改变得越快。

根据经验，BTU 的 10 个温区温度设置的起始温度可参见表 5.6 进行设置。

表 5.6 BTU 的温度设置的起始温度

温 区	温区 1	温区 2	温区 3	温区 4	温区 5	温区 6	温区 7	温区 8	温区 9	温区 10
上温区 (°C)	100	120	150	150	150	170	180	205	245	230
下温区 (°C)	100	120	150	150	150	170	180	205	245	230
传 送 速 度	80 cm/min									



1. 温度曲线的测试

炉温设置的关键是温度曲线的测试，而温度曲线测试的关键是测试板的制作。对测试板的制作应该做到：

(1) 测试板热特性应与实际板类似，最好采用实际的板制作测试板。

(2) 测试板测试点的选择，必须反映 PCBA 上最高、最低、关键器件（热敏感器件）焊点的温度。一般测试点应包括最大尺寸 BGA 的中心、角部与封装表面、PCB 面、电解电容表面、最大热容量的焊点。

(3) 测试点的固定，必须可靠、测试过程中不能松开，焊点大小应尽可能小，反映焊点的真实温度变化。

(4) 对于热容量特别大的金属基板，必须考虑进板数量或间距对焊接温度的影响，最好前后各放置一块同样的板。

2. 参数调试

如果温度高，适度降低温区温度；如果温度低，适度提高设置温度，一般应以 5°C 的幅度逐步进行测试。

3. 温度曲线的调试

调试温度曲线，通常按照图 5.34 所示建议流程进行。

此流程确保调制顺序的科学性。其中个别工作，例如个别参数特性的调制、初始参数的设置等参考本规范中的相关做法描述。



5.5.4 再流焊接故障模式、原理和解决方法

再流焊接工艺常见故障模式参见表 5.7。

表 5.7 再流焊接工艺常见故障模式

故障模式		故障识别编码	定义
冷焊	Cold Jiont	RS01	不完全再流现象的焊点，如不规则或焊粉不完全融合
不润湿	Non Wetting	RS02	焊盘或器件引脚上焊料覆盖少于目标焊料润湿面积
半润湿	Poor Wetting	RS03	最初表面润湿但随后收缩形成局部隆起的焊点
渗析	Leaching	RS04	再流时基底金属溶解到熔融焊料里的现象
立碑		RS05	无引线元器件的一端翘起，而站在另一端的现象
偏移		RS06	元器件在水平面上的位置移动现象
芯吸	Wicking	RS07	熔融焊料润湿元器件引脚时，焊料从焊盘位置爬上引脚，留下少锡或开焊点的现象
桥连	Bridge	RS08	相邻焊点之间形成焊料桥的现象
空洞		RS09	焊点内存在空洞的现象，多见于 BGA 焊点、大焊点内
开焊	Open	RS10	电接触中断或没有机械接触的焊点，如翘脚
锡球	Solder Ball	RS11	焊料离开主要焊接场所，凝固后不与焊接场所聚集而形成不同尺寸的小球状颗粒
锡珠	Solder beading	RS12	出现在元器件体附近的大锡球，其周围没有其他小锡球
球窝	Pillowing	RS13	BGA 焊球没有与焊料融合，而枕在焊料窝上的现象
飞溅物		RS14	焊点周围功能焊盘上出现的焊剂残留物
IMC 过厚		RS15	被焊金属与焊料界面形成的 IMC 过厚现象

各种故障的成因描述如下。

1. 冷焊

故障代码：RS01。

1) 形成冷焊的可能原因

- (1) 再流焊接温度不足。
- (2) 冷却时焊点扰动。
- (3) 不充分的焊剂助焊能力。
- (4) 不良的焊粉质量。

2) 对应的解决措施

- (1) 提高焊峰值温度，或延长熔点以上时间。
- (2) 对传送链条定期保养，避免拖动。
- (3) 更换活性比较强的焊膏，或在许可条件下适当增加焊膏量。
- (4) 更换焊膏。



2. 不润湿

故障代码：RS02。

1) 形成不润湿的可能原因

- (1) 被焊金属面可焊性差。
- (2) 焊膏过期氧化。
- (3) 焊剂活性不足。
- (4) 焊接时间短或温度低。

2) 对应的解决措施

- (1) 控制来料质量。
- (2) 更换焊膏。
- (3) 更换活性比较强的焊膏。
- (4) 增加焊接时间或提高焊接温度。

3. 半润湿

故障代码：RS03。

1) 形成半润湿的可能原因

- (1) 被焊金属的可焊性不良或不均。
- (2) 不适当的再流焊接温度曲线。

2) 对应的解决措施

- (1) 控制来料质量。
- (2) 降低预热温度与时间，提高焊接温度。

4. 渗析

故障代码：RS04。

1) 形成渗析的可能原因

- (1) 基底金属溶入焊料的提高其浓度。
- (2) 电极镀层无阻挡层或可焊层太薄。
- (3) 助焊接活性高。
- (4) 峰值温度高、熔点以上时间长。

2) 对应的解决措施

- (1) 控制来料质量，优选有阻挡层的电极镀层或比较厚的可焊层。



- (2) 使用活性中等的焊剂。
- (3) 适当降低峰值温度（高）或减少熔点以上时间（长）。

5. 立碑

故障代码：RS05。

1) 形成立碑的可能原因

- (1) 焊盘设计不良。
- (2) 两焊盘上的焊膏印刷量或厚度相差比较大。
- (3) 元器件焊端尺寸不同。
- (4) 焊盘污染，造成两个焊盘润湿不均衡。
- (5) 焊料熔化温度范围小。

2) 对应的解决措施

- (1) 优化焊盘设计，应使两焊盘大小一样、间距合适。
- (2) 优化钢网开窗设计。
- (3) 控制来料质量。
- (4) 使用熔化温度范围比较宽的焊膏。
- (5) 降低熔点附近升温速率。

6. 偏移

故障代码：RS06。

1) 形成偏移的可能原因

同立碑形成可能原因。

2) 对应的解决措施

同立碑解决措施。

7. 芯吸

故障代码：RS07。

1) 形成芯吸的可能原因

- (1) 加热速率高。
- (2) 元器件的共面性差或引脚变形。
- (3) 焊膏塌落性差。
- (4) 焊剂润湿速率大。
- (5) 焊剂活性差。



(6) 焊膏熔化温度范围小。

2) 对应的解决措施

- (1) 使用较慢的加热速率。
- (2) 提高元器件的共面性。
- (3) 使用较小塌落的焊膏。
- (4) 使用较慢润湿速率的焊剂。
- (5) 使用较高活性的焊剂。
- (6) 使用延时熔化的焊膏。

8. 桥连

故障代码: RS08。

1) 形成桥连的可能原因

- (1) 元器件引脚间距小。
- (2) 焊膏量太多。
- (3) 钢网开窗或焊盘设计大。
- (4) PCB 变形。
- (5) 印刷支撑不到位。

2) 对应的解决措施

- (1) 选用引脚间距比较大的封装。
- (2) 减少焊膏量, 此措施是关键措施。
- (3) 印刷支撑到位。

9. 空洞

故障代码: RS09。

1) 形成空洞的可能原因

- (1) 焊盘微盲孔清洗不干净。
- (2) BGA 焊球小、塌落高度大。
- (3) 焊膏热溶状态下黏度大。
- (4) 预热不足。
- (5) 焊膏氧化。

2) 对应的解决措施

- (1) 控制 PCB 质量。
- (2) 适当降低峰值温度或焊接时间。



- (3) 换用热熔状态下黏度小的焊膏。
- (4) 充分预热，使焊膏中焊剂比较充分地挥发。
- (5) 使用保质期内的焊膏。

10. 开焊

故障代码：RS10。

1) 形成开焊的可能原因

- (1) 引脚变形起翘。
- (2) 引脚氧化，不润湿。
- (3) 焊料不足或无焊膏。
- (4) 焊盘污染，芯吸。
- (5) 元器件或 PVB 变形，主要发生于长的表贴连接器，如内存条插座。

2) 对应的解决措施

- (1) 规范操作，避免密脚器件角部引线变形。
- (2) 更换物料或使用活性比较强的焊膏。
- (3) 检查焊膏印刷图形。
- (4) 避免 PCB 焊盘污染，杜绝手接触焊盘表面。
- (5) 使用托盘过炉。

11. 锡球

故障代码：RS11。

1) 形成锡球的可能原因

- (1) 钢网底部残留焊膏。
- (2) 使用从钢网上回收的焊膏。
- (3) 车间湿度大，焊膏吸潮。
- (4) 印刷对位不准。
- (5) 焊剂活性不足。
- (6) 焊膏氧化。
- (7) 升温速率高。

2) 对应的解决措施

- (1) 增加擦网频次，规范 PCB 的印刷支撑。
- (2) 不使用从钢网上回收的焊膏。
- (3) 控制车间湿度大。
- (4) 调整印刷对位精度。



- (5) 使用活性好的焊剂。
- (6) 更换焊膏。
- (7) 适当降低升温速率。

12. 锡珠

故障代码：RS12。

1) 形成锡珠的可能原因

- (1) 钢网开窗设计不合适。
- (2) 升温速率高。
- (3) 焊盘间阻焊设计。
- (4) 贴片压力过大。
- (5) 焊膏塌落性差。

2) 对应的解决措施

- (1) 优化钢网开窗，避免贴片时焊膏被挤到元器件体下。
- (2) 降低升温速率。
- (3) 优化设计，去掉封装体下焊盘间的阻焊。
- (4) 减少贴片压力。
- (5) 使用较少塌落的焊膏。

13. 球窝

故障代码：RS13。

1) 形成球窝的可能原因

- (1) 焊膏活性不足。
- (2) 焊膏量不足。
- (3) 元器件共面性差。
- (4) PCB 变形。

2) 对应的解决措施

- (1) 使用活性强的焊膏。
- (2) 适当增加焊膏量。
- (3) 控制元器件共面性。
- (4) 控制 PCB 变形。



5.6 其他焊接工艺

5.6.1 气相回流焊接工艺

气相回流焊是利用热媒介质蒸气冷凝转化成液体的过程中释放出大量的热,用来加热组装件,迅速提高组装件的温度。气相回流焊工艺的优点就是 ΔT 小,特别是对于无铅焊接,它的工艺窗口一般较窄。这也可以避免出现元器件过度加热的风险,因为印刷电路板和元器件的温度不会超过所选择的焊液的沸点。最后,因为在焊接工艺中使用的液体不会发生化学反应,也就不需要再用惰性氛围来焊接了。这些是气相再流焊比强制对流焊炉更强的三个主要优点。

因为气相回流焊的传热特性好,所以最适合用来焊接批量大、热处理困难的组装件。对于工艺窗口较窄的无铅焊接,气相回流焊是理想的工艺。气相回流焊技术的最新发展提高了工艺的灵活性并降低了运作成本。如今,欧美军工企业普遍使用了真空气相回流焊来焊接产品,使得军用电子产品的寿命和可靠性能满足日益苛刻的使用要求。

5.6.2 压焊工艺

压焊是指在焊接过程中必须对工件施加压力(加热或不加热)以完成焊接的方法。加压可使两个焊件之间接触紧密,并在焊接部位产生一定的塑性变形,促使原子扩散而使二者焊接在一起。

压焊是典型的固相焊接方法,固相焊接时必须利用压力使待焊部位的表面在固态下直接紧密接触,并使待焊接部位的温度升高,通过调节温度、压力和时间,使待焊表面充分进行扩散而实现原子间结合。熔化焊一般需要填充材料,常用的是焊条或者焊丝、焊渣。压力焊常用在钢筋的焊接上。

压焊最常用的是电阻焊。它是工件组合后通过电极施加压力,利用电流通过接头的接触面及邻近区域产生的电阻热进行焊接的方法。

5.6.3 激光焊接工艺

激光焊接是利用高能量密度的激光束作为热源的一种高效精密焊接方法。激光焊接是激光材料加工技术应用的重要方面之一。20世纪70年代主要用于焊接薄壁材料和低速焊接,焊接过程属热传导型,即激光辐射加热工件表面,表面热量通过热传导向内部扩散,通过控制激光脉冲的宽度、能量、峰值功率和重复频率等参数,使工件熔化,形成特定的熔池。由于其独特的优点,已成功应用于微、小型零件的精密焊接中。

激光焊接可以采用连续或脉冲激光束加以实现,激光焊接的原理可分为热传导型焊接和激光深熔焊接。功率密度小于 $10^4 \sim 10^5 \text{ W/cm}^2$ 为热传导焊,此时熔深浅、焊接速度慢;功率



密度大于 $10^5 \sim 10^7 \text{ W/cm}^2$ 时，金属表面受热作用下凹成“孔穴”，形成深熔焊，具有焊接速度快、深宽比大的特点。

其中热传导型激光焊接原理为：激光辐射加热待加工表面，表面热量通过热传导向内部扩散，通过控制激光脉冲的宽度、能量、峰功率和重复频率等激光参数，使工件熔化，形成特定的熔池。







思考题 5

- (1) 什么是焊接？请解释焊接机理。
- (2) 按加热方式分，电烙铁分哪几种？
- (3) 三步法和五步法有何差别？
- (4) 影响波峰焊焊接的关键因素有哪些？
- (5) 常见波峰焊焊接的故障有哪些？
- (6) 选择性波峰焊制程分哪几部分？
- (7) 常见选择性焊接的故障模式有哪些？
- (8) 再流焊接主要分为哪几个过程？
- (9) 请解释再流焊接温度曲线各段在焊接中的作用。
- (10) 再流焊接常见的故障模式有哪些？

第6章 压接工艺技术



本章要点

-  压接概念
-  压接机理
-  压接设备及工装
-  压接设计工艺性要求
-  压接操作通用要求
-  压接工艺过程控制



6.1 压接概念

6.1.1 什么是压接连接

所谓压接是在常温下，使两个以上金属物体相接触，不必为金属施加热能或化学能，只需加机械压力，直至金属发生塑性变形而形成金属组织一体化的接合过程就称为压接连接。

压接连接工艺方法是 1880 年由美国公司发表的，在第一次世界大战期间，主要为满足飞机制造上的要求。压接是通过压力使得被连接的导体形成永久连接的一种工艺方法。其主要优点：

- ① 不会因腐蚀而增加电阻。
- ② 电气接触良好。
- ③ 耐高温也耐低温。
- ④ 连接的机械强度高。
- ⑤ 工艺简单，易于实现自动化。
- ⑥ 环保性好，无污染。

6.1.2 压接工艺的应用和压接端子的特点

1. 在军用、民用产品中的应用

多年来国内外军用、民用等电子产品中广泛使用压接技术。由于它能长期在高温、超低温、振动、冲击等恶劣环境下工作；质量控制方便，可靠性高，压接连接的失效率比普通烙铁焊连接低一个数量级；压接还可用于各种无法焊接的特殊材料的导线；可在高空、井下、火工品现场等无电热源和禁用电热工具的特殊环境下进行可靠的连接。例如，在超低温环境下工作的连接点不能使用锡焊，采用压接就可完全满足使用要求：由于环境可靠性要求，飞船上的电连接器全部要求压接。

2. 压接端子的特点

1) 压接连接的结构类型

压接连接的结构类型很多，粗略地归类大致可分为以下两大类。

(1) 导线和端子之间的压接接续。

导线和端子之间的压接接续的典型应用实例，如图 6.1 所示。

(2) 连接器和 PCB 金属化通孔之间的压接接续。

连接器和 PCB 金属化通孔之间的压接接续，是背板产品中应用最多的连接接续形式，如图 6.2 所示。这是本章重点讨论的内容。

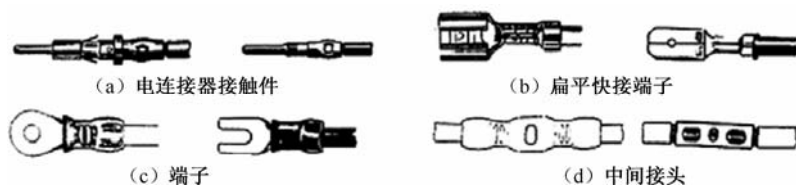


图 6.1 不同种类的端子和导线的压接接续

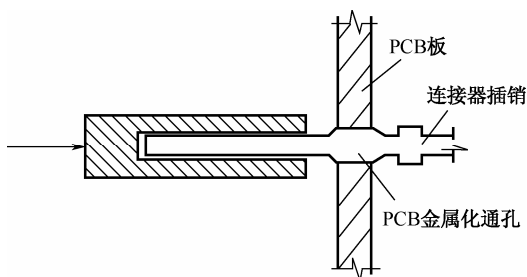


图 6.2 连接器插销和 PCB 金属化通孔间的压接接续

2) 压接端子的特点

- (1) 不同于软钎焊，不需要熟练的技术，一般人员均能进行操作。
- (2) 连接质量一致性好。
- (3) 能适用大批量生产（可使用自动压接装置或气压式压接工具）。
- (4) 无热损伤。
- (5) 应用范围广（除用于铜、黄铜外，还可用于镍、镍铬合金、铝等许多金属导体的连接）。

6.2 压接机理

压接是由弹性可变形插针或刚性插针与 PCB 金属化通孔配合而形成的一种连接，在插针与金属化通孔之间形成紧密的接触点，靠机械连接实现电气互连。为了形成紧密的配合，针脚的横截面尺寸必须大于金属化通孔孔径，在压接过程中，针脚横截面或金属化通孔要发生变形。压接示意图如图 6.3 所示。

压接时金属相互接合时，既不像熔焊时那样需使被连接的金属熔融，也不像软钎接那样，需要其他熔融金属来填充缝隙。它之所以仅通过金属相互直接压接，就能保持连接的电气和机械性能，是因为在局部施加强大压力时，在端子的金属部分和电线的导体之间产生类似于原子的熔融现象而使金属连成一体。对压接的机理可用图 6.4 和图 6.5 来描述。

以图 6.6 所示为例，这时端子壁和孔壁金属之间，由于铜的塑性变形，互相挤压，保持着紧密的接触。也就是说，孔内的铜端子和孔壁同时受外力而发生压缩变形。在压力 F 消失后，由于铜的弹性产生使铜端子恢复其原状的力。借助这种储存在铜端子内的弹性能量，产生对孔内壁的压力而形成电的接触。在这种情况下，压缩的端子压力非常大，虽然端子和孔

壁铜接触十分紧密,但孔壁受到挤压作用而降低了它的抗拉强度。故在满足压接头电气性能要求的同时,也要求满足压接头的机械性能要求。压接连接的最佳压接量要通过试验并绘制压接特性曲线图来确定,如图 6.7 和图 6.8 所示。

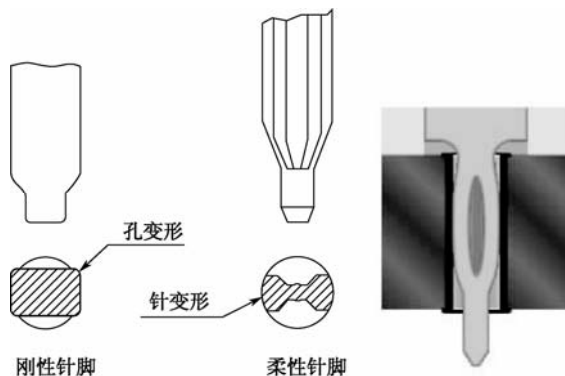


图 6.3 压接示意图

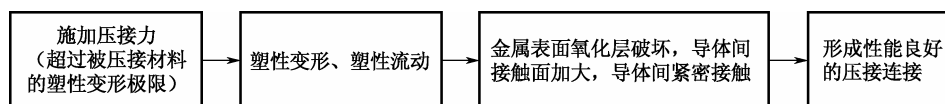


图 6.4 压接机理表述

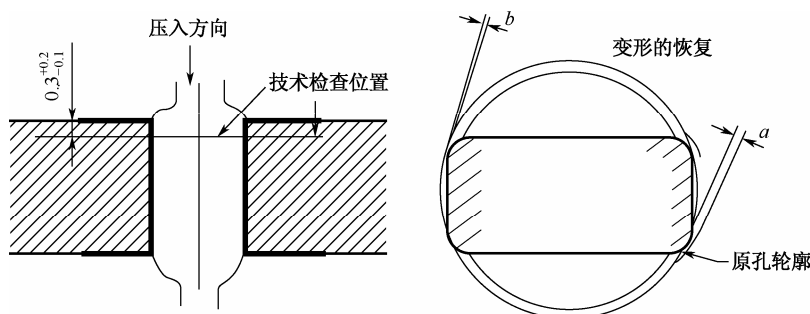


图 6.5 压接机理图示

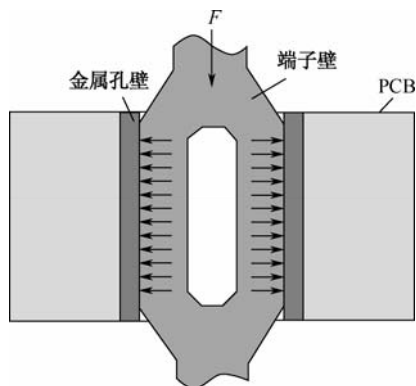


图 6.6 压接部残留应力模型

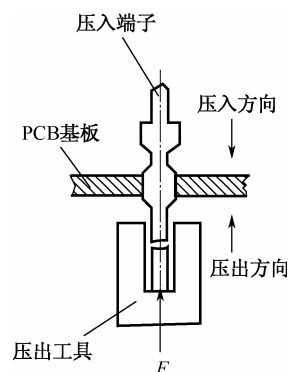


图 6.7 压出力试验

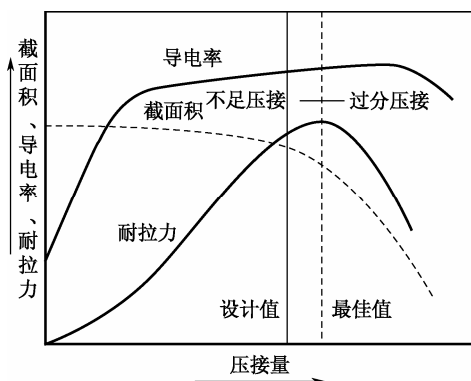


图 6.8 压接特性曲线

接合点的端子和导线的变形过程描述如下：

- (1) 将端子正对 PCB 金属化通孔。
- (2) 将端子垂直压入金属化通孔中。
- (3) 端子弹性变形和孔壁金属紧密接触，端子与孔壁接触面的氧化物及污物被挤压脱落。
- (4) 端子两侧棱角部分被挤压楔入孔壁金属中。
- (5) 端子沿纵轴方向稍微伸长。
- (6) 随着楔入深度的增大，在某一值上抗拉强度达到最大，而后便逐渐减小。
- (7) 楔入深度若过分增大，孔壁金属截面减小，这对抗拉强度不利。

综上所述，通过接合端子，孔壁金属和压接工具三者协力完成了压接过程。

压接时控制好压力非常重要，如压力不够，或者所用的端子与金属孔不匹配，都不会使端子两侧面牢固地“吃进”孔壁金属而形成一体，产生端子脱出现象，即使没有端子脱出，也会造成接触电阻的增大，由此引起压接点发热，造成事故。

6.3 压接设备及工装

6.3.1 压接方式分类及设备

1. 按自动化程度分

按自动化程度可分为手动压接、半自动压接、全自动压接。

1) 手动压接

手动压接以 HS2000 型号为例，如图 6.9 所示。手工摇臂式压接，操作灵活、适用性强；手工更换压接头，双手放板后，摆放压接工装，单手摇臂下压，目视下压位置是否到位，未压到位时，增加压力重复下压动作；主要用于普通系统板和背板，操作方便灵活，但人工等不可控因素较多，如压接速度和压力、下压位置，只能人工目视判断连接器接触 PCB。

2) 半自动压接 1

半自动压接 1 以 YJ-25 型号为例, 如图 6.10 所示。气压控制、LED 显示。手工更换压接头, 移动待压接连接器到压接位置后, 脚踩开关开始压接, 设定压接位置控制, 速度较快; 主要用于背板压接, 解决手工压接效率低、力度不够等问题, 但压力监控精度有限, 难以满足高速连接器等压接要求。



图 6.9 手动压接机 HS2000



图 6.10 半自动压接机 YJ-25

3) 半自动压接 2

半自动压接 2 以 JP1004 型号为例, 如图 6.11 所示。伺服电动、压力自动检测。手工更换压接头, 移动连接器到压接位置后, 脚踩开关开始压接, 通常选用一定速度到设定位置的程序模式, 可以分段组合多种控制模式; 主要用于普通系统板的较高端连接器压接, 压接速度较手工慢, 保障压接质量。

4) 全自动压接机

全自动压接机以 Tyco AEP 6T 型号为例, 如图 6.12 所示。伺服电动、压力自动检测、多种模式复合压接。可以自动更换压头、自动转换程序压接等功能。压头可以自动旋转 0° 、 90° 、 180° , 实现压力监测和全程追溯, 可以分段设置压接参数; 成为 AMP、FCI、Amphenol、Molex 等众多压接连器的推荐压接设备。



图 6.11 半自动压接机 JP1004



图 6.12 全自动压接机 Tyco AEP 6T



2. 按控制方法分

按控制方法可分为手动、气动、液压、伺服等压接，其对比参见表 6.1。

表 6.1 压接控制方法的比较

压 接 设 备	结 构	压 力 控 制	行 程 控 制	压 接 速 度	备 注
手动压接	C 型	人工手感控制，无精度	人工控制或螺钉限位	人工控制	方便灵活
气动压接	C 型	人工调节，精度低	气缸行程，0.5mm	人工设定气压设定	强度低速度快
液压压接	C 型	人工调节，精度低	机械开关等，0.5mm	人工调节设定	强度低速度快
伺服压接	H 型	传感器软件控制，压力曲线	伺服电动机电子控制 10 μ m	可以分段控制， 10 μ m/s	压接曲线过程监控
特点说明	H 型结构的压头垂直度、压合精度更稳定	压力监控可以发现连接器跪针、针脚偏移问题	高精度是保障压接质量的首要因素	金属化通孔（鱼眼孔）变形时，低速压接可以有效提高压接质量	高速连接器和压接质量都要求对压接过程监控

3. 按压接过程分

按压接过程可分为固定压力模式、按引脚数固定压力模式、固定高度模式、PARS（平均压力）模式、压力增量模式，其对比参见表 6.2。

表 6.2 压接过程的比较

压接过程控制	实 现 方 式	主 要 特 点	备 注
固定压力模式	液压或气压	设定固定压力压接	容易损伤 PCB 或连接器
按引脚数固定压力模式	液压、气动、电动	按连接器引脚设定压力，不同引脚数不同压力	不能根据引脚或通孔偏移等异常调节
固定高度模式	伺服电动机	逐渐增加压力使引脚插入到指定位置，通常用于压接过程的初期和中期	要求 PCB 和连接器厚度均匀精密
PARS（平均压力）模式	压力检测和闭环控制，伺服电动机	根据实际压接过程中压力大小，设定平均压力范围，自动控制压力	通常用于压接过程的结束阶段
压力增量模式	压力检测和闭环控制，伺服电动机	检测连接器底端接触电路板时压力突然增大来判断压接结束	适用于连接器坚固的连接器，用于压接结束阶段

6.3.2 压接工装

压接工装是为保证压接工艺和流程能正确执行而所需的装置或器具。有的是标准件，可以购买；有的是专用件，需要自行设计。压接工装一般分为：压接上模、压接底模、压接衬板。

1. 压接上模

用于支撑连接器接的上部分模具，称为压接上模，如图 6.13 所示。

2. 压接底模

用于支撑连接器接的底部模具，称为压接底模，如图 6.14 所示。

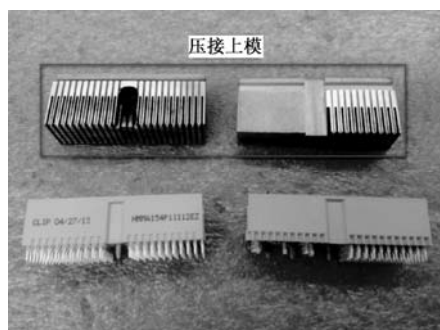


图 6.13 压接上模

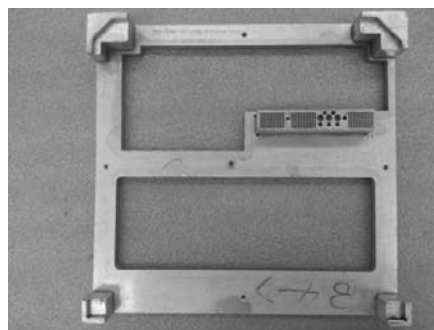


图 6.14 压接底模

3. 压接衬板

用于支撑背板产品压接元器件的压接模具，与底模类似，但是其材质一般为 PCB 常用基材的 FR4，如图 6.15 所示。

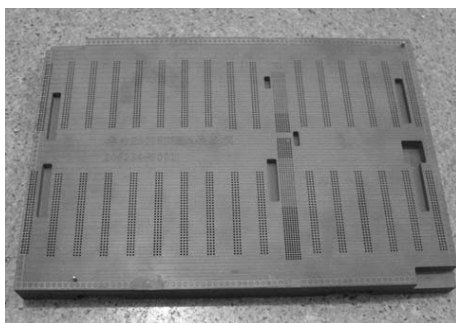


图 6.15 压接衬板

6.4 压接设计工艺性要求

6.4.1 单板上压接连接器周围元器件布局要求

单板上的压接插座的底面距离压接插座外圈引脚焊盘边缘 2.5 mm 的范围内，不允许有插件焊点或器件；Top 面板 5 mm 范围内不允许有高于压接插座的器件，如图 6.16 所示。

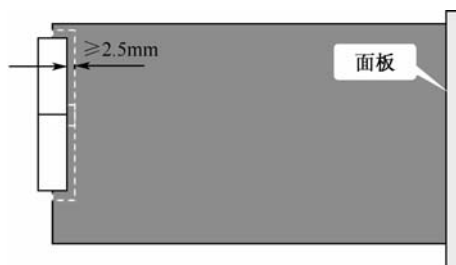


图 6.16 压接连接器周围元器件的布局



6.4.2 常用压接元器件的安装孔径和焊盘尺寸

常用连接器元器件的压接安装孔径和焊盘尺寸参见表 6.3。

表 6.3 常用连接器元器件的压接安装孔径和焊盘尺寸

单位: mm (mil)

方形引线截面尺寸	压接孔尺寸	最小焊盘外径	针 间 距	适 用 元 件
0.6×0.6/0.64×0.64	$\phi 1.0 \pm 0.05$ (40±2)	$\geq \phi 1.4$ (56)	2.54×2.54	96 芯 DIN 型插头
0.5×0.5	$\phi 0.7 \pm 0.05$ (28±2)	$\geq \phi 1.2$ (48)	2×2	2mm-1 系列插头 (板内)
0.4×0.4	$\phi 0.6 \pm 0.05$ (24±2)	$\geq \phi 1.0$ (40)	2×2	2mm-2 系列插头 (板外)

注: 连接器压接孔应以元器件说明书以及对应表面处理工艺进行选择, 本表数据基于 HASL 板。

6.4.3 背板设计要求

1. 背板工艺设计总体原则

对于后背板上的元器件, 推荐选择全压接工艺设计。随着背板传输速率越来越高, FR4 材料将不能满足要求, 可以采用混压材料降低成本压力, 部分背板材料参见表 6.4。

所有需要压接连接器的背板, 必须同步设计其衬板。

背板板边的压接定位孔可以为金属化孔或非金属化孔。

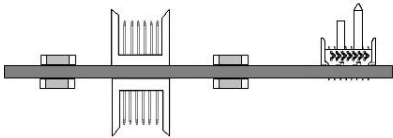
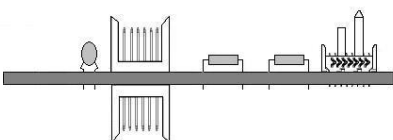
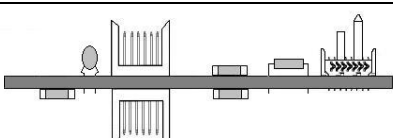
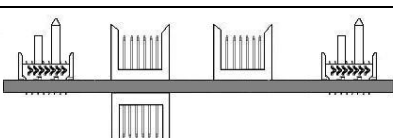
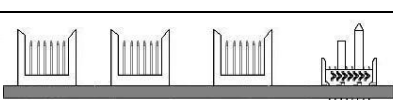
表 6.4 部分背板材料

材 料 类 别	供 应 商	Dk	Df	适 用 频 段
普通 FR4	SYE、Grace、ITEQ	3.9~4.5(1MHz)	0.01~0.021(MHz)	<3GHz
N4000-13	Nelco	3.3~3.8	0.01	3~6GHz
IS640	isola	3.33+/-0.05	0.004~0.005	
RO4350B	ROGERS	3.48	0.0035~0.0037	
IS640	isola	3.33+/-0.05	0.004~0.005	
RF-35p	Taconic	3.5(1.9GHz)	0.0025(10GHz)	6~10GHz
25n/25FR	ARLON	3.38~3.58(10GHz)	0.0025~0.0035(10GHz)	
PTFE	ROGERS、ARLON、 Nelco、TACONIC	2.0~3.5(10GHz)	0.0009~0.003(10GHz)	>10GHz

2. 背板组装形式

推荐的设计优先原则为: 全压接>(压接+设备焊接)>((压接+设备焊接+手工焊接)/(压接+手工焊接))。表 6.5 为各背板组装形式。

表 6.5 背板组装形式

组 装 形 式	示 意 图	适 用 条 件	特 点
I. 单/双面 SMT→压接连接器→(压装护套→)安装其他配套件		信号传输速率较高, 阻抗控制严格	工艺流程相对简单, 成本较低。 优选工艺
II. 单面插装→压接连接器→(压装护套→)安装其他配套件		信号传输速率较低, 阻抗控制没有严格要求	工艺流程相对简单, 成本较低
III. 混装(不允许双面插装)→压接连接器→(压装护套→)安装其他配套件		信号传输速率较低, 阻抗控制没有严格要求	工艺流程相对复杂, 成本较高。 不推荐
IV. 压接连接器→压装护套→安装其他配套件		双面插板, 不需阻抗匹配的情况	工艺流程简单, 成本低。 优选工艺
V. 压接连接器→安装其他配套件		单面插板、转接板或小背板	工艺流程简单, 成本低。 优选工艺

3. 背板元器件选型要求

1) 通用要求

连接器尽可能选用压接型结构, 其次选用焊接型、铆接型, 最后再考虑选用螺装型, 以便简化工序、提高装配效率。

2) 手工焊接要求

- (1) 不允许选用贴片电阻排。
- (2) 选用的 SMD 元器件封装尺寸不小于 0805。
- (3) 不推荐采用拨码开关。

4. 背板厚度和尺寸

背板的厚度由产品系统工程师确定, 推荐值为 3.2 mm、3.5 mm、4.0 mm。对于超厚板(超过 4 mm), 因涉及通孔元器件引脚漏出板面等问题, 应事先和装联工艺人员沟通。

表 6.6 为目前各装焊设备的能力。



表 6.6 目前各设备能力

设 备	设备标称工作尺寸	不适宜焊接的元器件种类
无铅选择性波峰焊机	500mm×600mm	
无铅波峰焊机	宽度 450mm, 长度无限制	片式排阻, 高度>6mm 的贴片元器件
有铅波峰焊机	最大宽度 300mm/500mm/510mm (不同设备值), 长度>50mm	片式排阻, 高度>6mm 的贴片元器件
SMT 设备	55mm×55mm×0.5mm~460mm×460mm×4.5mm	
手工贴片和手工焊接	无尺寸限制	片式排阻, 拨码开关
背板测试设备	3 台, 最大测试点数为 8192 点	

6.4.4 常见压接元器件设计检查

(1) 压接器件焊盘与实物一致。

(2) 压接元器件 5mm 范围内元器件面不得有超过压接元器件高度的器件, 背面 5mm 范围内不得有元器件或者焊点。

压接器件与其他元器件间距符合标准。

6.5 压接操作通用要求

6.5.1 半自动压接单点通用要求

1. 工艺流程

半自动压接制程可以分成 4 个部分, 分别为插件、放板、压接、取板, 如图 6.17 所示。

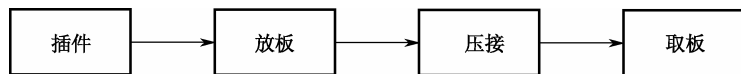


图 6.17 半自动压接的基本工艺流程

1) 插件

确保连接器准确无误地插入 PCB 对应的压接孔内。插件时需参照丝印方向, 要求连接器方向与丝印方向一致。当连接器插入 PCB 孔内后, 用手轻轻按压连接器, 使连接器鱼眼孔卡在 PCB 孔口, 确保连接器与 PCB 垂直, 无歪斜。

2) 放板

确保将被压接的连接器稳定安全地放到压接头下方。如果需要底模, 应先放工装再放 PCB。根据单板的宽度选择 1 个或 2 个“支撑工装”同时使用。

通常 PCB 上不止一个器件需要压接, 此时需手工移动并重新放置单板, 每次移动以连接器稳定安全地位于压接头正下方为准。



3) 压接

启动压接开关进行压接，确保连接器稳定垂直地进入 PCB 的金属化孔内。

4) 取板

确保将已压接完的 PCBA 稳定、安全地拿出设备。

2. 工艺参数

1) PCB 厚度

PCB 厚度指在设备中，PCB 沿压接头行程方向上的 PCB 尺寸。

2) 压接力

压接力是指连接器在压接过程中施加在每个针脚上力的总和。

压接力参数属性为“调试”，保证在一定的压力范围内连接器压入孔内，且不会导致连接器和单板压坏。

3) 压接头高度

压接头高度是指通过手柄将压接头压至最低高度时，压接头下表面距离单板上表面的高度。

压接头高度参数属性为“调试”，需保证在压接行程内压接到位，不出现过压问题。

3. 压接速度

压接过程中的速度，探测过程中接触连接器后即切换为压接速度，普通连接器速度通常为 5~30mm/s，高速连接器建议速度为 1~10mm/s。

压接速度参数属性为“调试”。

4. 设备工艺参数调制

在常规的操作下，新产品的各个参数的调整建议由初始参数开始。如果有十分类似的产品经验，也可以由工程师决定从该类似产品的经验值开始。在批量生产中，参数的调制是用来处理因设备或材料的变化或漂移指标造成的工艺问题。

具体的产品所需设备调制的工艺参数，可参考具体的通用工艺规范或设备作业指导书。

6.5.2 全自动压接单点通用要求

1. 工艺流程

全自动压接工艺是通过自动设备（全自动压接机），对压接的全过程进行施工和管控。制程可以分成 5 个部分，分别为插件、放板、定位、压接、取板，如图 6.18 所示。

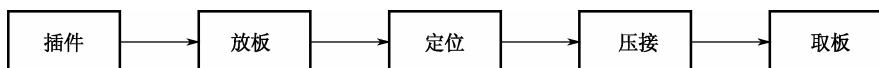


图 6.18 全自动压接的基本工艺流程

全自动压接的基本工艺流程与半自动的插件、放板、压接、取板相同，其作用和原理不再赘述。增加的“定位”原理及作用是确保每一块 PCB 放在适当的定位孔内固定，定位孔的精度要求 $\pm 0.01\text{ mm}$ 。确保整个放板和压接过程中 PCB 的位置保持不变。PCB 的平整度也是保证印刷质量的重要因素，所以在工艺开发、设置和调整阶段，工程师必须制定适当的夹板定位方法。为了确保压接质量，本工序要求在对位不良的情况下停机报警。

2. 工艺参数

1) PCB 宽度

PCB 宽度指在设备中，PCB 沿设备 Y 轴方向上的 PCB 尺寸。如果 PCB 非正方形或长方形时，则指此方向的最大尺寸或最宽部位的尺寸，如图 6.19 所示。

在自动压接机的条件下，这是个属于限制属性的工艺参数，必须要满足设备允许的最大尺寸要求才能放入 PCB 进行压接。

2) PCB 长度

PCB 长度指在设备中，PCB 沿设备 X 轴方向上的 PCB 尺寸。如果 PCB 非正方形或长方形时，则指此方向的最大尺寸或最长部位的尺寸，如图 6.20 所示。

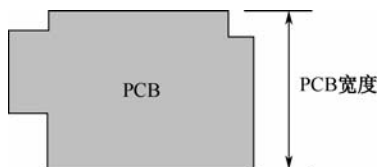


图 6.19 PCB 宽度

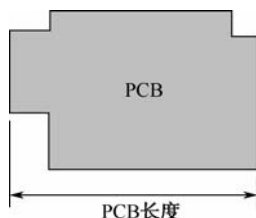


图 6.20 PCB 长度

在自动压接机的条件下，这是个属于限制属性的工艺参数，必须要满足设备允许的最大尺寸要求才能放入 PCB 进行压接。

3) PCB 厚度

PCB 厚度指在设备中，PCB 沿设备 Z 轴方向上的 PCB 尺寸，如图 6.21 所示。



图 6.21 PCB 厚度

在自动压接机的条件下，这是个属于限制属性的工艺参数，必须要满足设备允许的最大尺寸要求才能进行压接。



4) 双面板底部器件高度

双面板底部器件高度指在设备运行时,在 PCB 不被压接的一面上,沿 PCB 厚度方向上,器件所体现的最高高度,这个高度不是指单个器件的高度,而是指所有器件中的最高高度,也不是指器件本身的规格尺寸,而是指从底部 PCB 表面向下延伸的高度,如图 6.22 所示。



图 6.22 双面板底部器件高度

在自动压接机的条件下,这是个属于限制属性的工艺参数,必须要满足设备允许的最大尺寸要求才能进行压接。

5) 压力

压力是指连接器在压接过程中施加在每个针脚上力的总和,该压力随着针脚在 PCB 金属化孔的行程而变化。该参数属于调试属性的工艺参数,保证在一定的压力范围内连接器压入孔内,在压接结束时脱离压力不会导致连接器压坏。

6) 压接行程

压接行程是指连接器从预装到 PCB 上高度到压入 PCB 孔内在 Z 轴方向上的距离,即两者的高度差。该参数属于调试属性的工艺参数,保证在压接行程内压接到位,不出现过压问题。

7) 压接速度

压接速度指连接器在一定的时间内完成压接行程。该参数属于调试属性的工艺参数,保证在合适的压力速度内连接器压入孔内,且不发生质量问题。确保不出现过快压接速度而导致连接器压坏。

8) 保压时间

保压时间是指在压接过程中,当针脚最大尺寸部分进入 PCB 孔内时,保持该压力的停留时间。该参数属于调试属性的工艺参数。确保长度较短或材质强度较低的针脚压入孔内,不发生跪针问题。

3. 工艺参数的调制

具体的产品所需设备调制的工艺参数,可参考具体的通用工艺规范或设备作业指导书。



6.6 压接工艺过程控制

6.6.1 压接工艺过程控制的意义

压接工艺过程控制对确保压接连接质量的重要性是由压接连接的特点决定的。

(1) 压接连接件必须经压接才能形成，其质量必然和压接全过程有关，全过程中的任何失误都会影响到压接连接件的质量。

(2) 压接操作过程具有“一压定质量”的特点，过程中不能测量和再加工，不能返修。

(3) 作为压接产品的压接连接件，它们的真实质量状况是无法知晓的，因为压接连接的主要技术指标是耐拉力，这是一项破坏性试验，不可能在正式产品上进行试验，只能通过相同工艺条件下压接的试样来间接测得。

因此，压接连接的质量必须并且也只有通过确保压接全过程的正确性来保证，并通过验证压接全过程的正确性来证明压接连接的质量是否合格。

6.6.2 影响压接的主要工艺参数

1. PCB 宽度

参数代码：1-01。

PCB 宽度指在设备中，PCB 沿设备 Y 轴方向上的 PCB 尺寸。如果 PCB 非正方形或长方形时，则指此方向的最大尺寸或最宽部位的尺寸，如图 6.23 所示。

在自动压接机的条件下，这是个属于限制属性的工艺参数，必须要满足设备允许的最大尺寸要求才能放入 PCB 进行压接。

2. PCB 长度

参数代码：1-02。

PCB 长度指在设备中，PCB 沿设备 X 轴方向上的 PCB 尺寸。如果 PCB 非正方形或长方形时，则指此方向的最大尺寸或最长部位的尺寸，如图 6.24 所示。

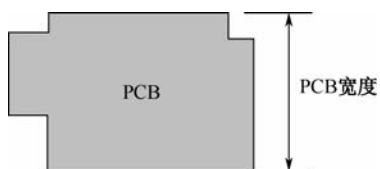


图 6.23 PCB 宽度

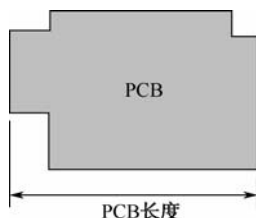


图 6.24 PCB 长度

在自动压接机的条件下，这是个属于限制属性的工艺参数，必须要满足设备允许的最大尺寸要求才能放入 PCB 进行压接。

3. PCB 厚度

参数代码：1-03。

PCB 厚度指在设备中，PCB 沿设备 Z 轴方向上的 PCB 尺寸，如图 6.25 所示。



图 6.25 PCB 厚度

在自动压接机的条件下，这是个属于限制属性的工艺参数，必须要满足设备允许的最大尺寸要求才能进行压接。

4. 双面板底部器件高度

参数代码：1-04。

如图 6.26 所示，双面板底部器件高度指在设备运行时，在 PCB 不被压接的一面上，沿 PCB 厚度方向向上，器件所体现的最高高度，这个高度不是指单个器件的高度，而是指所有器件中的最高高度，也不是指器件本身的规格尺寸，而是指从底部 PCB 表面向下延伸的高度。

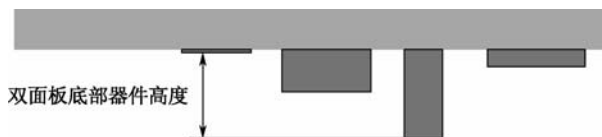


图 6.26 双面板底部器件高度

在自动压接机的条件下，这是个属于限制属性的工艺参数，必须要满足设备允许的最大尺寸要求才能进行压接。

5. 压力

压力是指连接器在压接过程中施加在每个针脚上力的总和，该压力随着针脚在 PCB 金属化孔的行程而变化。该参数属于调试属性的工艺参数，保证在一定的压力范围内连接器压入孔内，在压接结束时脱离压力不会导致连接器压坏。

6. 压接行程

压接行程是指连接器从预装到 PCB 上高度到压入 PCB 孔内在 Z 轴方向上的距离，即两者的高度差。该参数属于调试属性的工艺参数，保证在压接行程内压接到位，不出现过压问题。

7. 压接速度

压接速度指连接器在一定的时间内完成压接行程。该参数属于调试属性的工艺参数，保证在合适的压力速度内连接器压入孔内，且不发生质量问题。确保不出现过快压接速度而导致连接器压坏。



8. 保压时间

保压时间是指在压接过程中,当针脚最大尺寸部分进入 PCB 孔内时,保持该压力的停留时间。该参数属于调试属性的工艺参数。确保长度较短或材质强度较低的针脚压入孔内,不发生跪针问题。

6.6.3 常见压接不良

常见压接不良主要表现在以下几个方面。

1. 跪针

跪针指在压接过程中,连接器的针脚未完全压入 PCB 的金属化孔内,针脚的一部分在金属化孔外弯曲,即针脚“跪倒”。由于连接器放置不到位、插针歪斜、下压过快、压力方向不垂直等原因造成,如图 6.27 所示。

2. 未压接到位

未压接到位指压接后连接器塑胶壳体底部平面与 PCB 表面之间的间隙大于规定要求。IEC 标准为 0.125 mm。压接不到位的原因有:压力设置过小或者压接行程过小。解决办法是加大压力和增加压接行程,如图 6.28 所示。

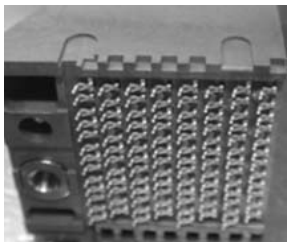


图 6.27 跪针

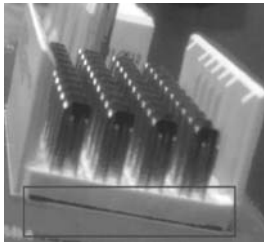


图 6.28 未压接到位

3. 压坏(过压)

压坏(过压)指在压接过程中,因压接行程过大,导致连接器在压接到位后仍然受力下压,从而使连接器或 PCB 受到损伤,轻微的会使连接器变形或针体弯曲,严重的会导致连接器报废、PCB 变形或破裂。过压发生的原因是压接行程过大和压力设置过大。连接器外壳或引脚变形,为压力过大或工装错误等原因造成,如图 6.29 所示。

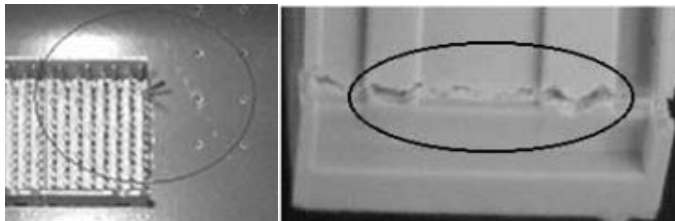


图 6.29 压坏(过压)



4. 插针偏移

插针偏移指压接后连接器插针发生偏离，偏离角度大于 2° 或在偏离方向上超出针体宽度的 50%。发生插针偏移的原因有：压力设置过大或行程过大；压接模具与插针配合误差或者模具在装入连接器时发生偏移，如图 6.30 所示。

5. 其他压接不良

其他压接不良，可参考 IPC-A-610 《电子组件的可接收性》中关于压接部分的章节。

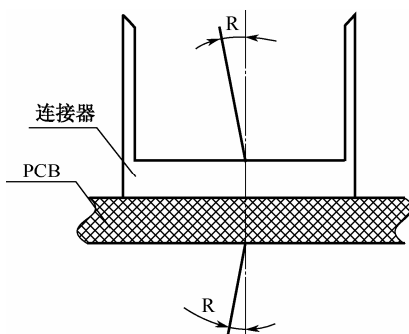


图 6.30 插针偏移

6.6.4 压接不良的检查方法

压接不良检查方法主要有：目检、放大镜、X-RAY、工装、塞规等。

1. 目检

通过目视检查的方式，可检查压接器件的外形是否破损和变形、是否压接到位等。

2. 放大镜

使用放大镜对压接器件疑似故障位置进行检查。

3. X-RAY

将压接后的单板放入 X-RAY 设备中检查，可检查出单板是否有内部断针等目视无法检查的压接不良。

4. 工装

将压接后的单板放入专制的检查工装，部分检查工装可能会进行电性能检查。

5. 塞规

用于检查压接 PCB 孔径是否符合 PCB 设计要求。



6.6.5 压接工艺过程控制

连接器和 PCB 金属化通孔压接过程大致可分为插针接触 PCB、连接器金属化通孔（鱼眼孔）变形、连接器底部接触 PCB，如图 6.31 所示。

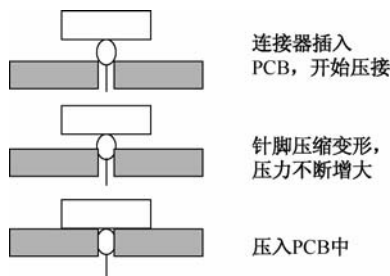


图 6.31 连接器和 PCB 金属化通孔压接过程

压接过程中的要求及可能产生的不良问题参见表 6.7。

表 6.7 压接过程的要求及不良问题

压接过程控制	过程要求	不良问题
插针接触 PCB	确保连接器准确无误地插入 PCB 对应的压接孔内；方向和位置正确，无歪斜	连接器来料插针偏斜，与 PCB 孔不对应，安装位置和方向错误，歪斜
连接器鱼眼孔变形	将连接器以一定速度垂直稳定的下压；压接速度为 1.27~5mm/sec；压力针脚数×每针压力范围	速度过快或压力过大、连接器歪斜、鱼眼孔变形等导致跪针、焊盘损坏、PCB 开裂、连接器变形等
连接器底部接触 PCB	连接器底部与 PCB 缓慢接触后，停止下压；通过位置或压力控制，确保连接器底部与 PCB 接触到位而且压力未超标	行程错误，过压或欠压，未安装到位，连接器变形、开裂、不出针等问题

根据压接时金属化通孔（鱼眼孔）变形和压力变化，对压接过程分析；如图 6.31 所示，压力曲线变化分为 4 段：①为压力 0，②为压力递增，③为压力减小，④为压力骤增。

影响压力的因素有：PCB 的表面平整度、通孔直径、插针尺寸、引脚数量等；此外压接速度和制具精度、定位脚、连接器结构也会影响压接质量。

6.6.6 对压接件的控制

（1）采用非标准件时必须经过试验确认可用后再导入使用。

（2）压接件基材应为铜或铜合金。如果对压接件没有其他使用要求（如弹性要求等），压接件材料应优选铜。压接件电镀材料应优选锡或锡-铅合金。外接端为插接式的压接件必要时可镀金，而坑压式连接器接触件表面必须电镀金。

（3）应保证压接件压线筒的压线范围与端子线芯尺寸或线芯总尺寸相匹配。









思考题 6

- (1) 什么是压接？请解释压接原理。
- (2) 压接分为哪几类？各有什么特点？
- (3) 压接布局设计有哪些要求？
- (4) 影响压接质量的因素有哪些？
- (5) 常见的压接缺陷有哪些？

第7章 电子胶接工艺技术



本章要点

-  电子胶及其黏结理论
-  保护类胶黏剂
-  表面贴装用胶黏剂
-  导电胶、导热胶
-  用于 LCD 制造中的胶黏剂
-  其他通用黏结类胶黏剂的应用领域

7.1 电子胶及其黏结理论

7.1.1 电子胶的作用

电子胶在电子装配中的应用面很广，如图 7.1 所示，给出了电子胶在电子产品上的主要应用场景，归纳起来主要作用有：

- 保护，即保护印制电路板上元器件免受外力冲击影响。
- 黏结，即通过电子胶将两种或两种以上固体物料结合到一起，以达到固定的目的。
- 密封，即采用电子胶对对象进行处理，以达到隔绝空气、水等外界环境影响的目的。
- 导电，一种掺入了导电物质的电子胶，利用其黏性和导电性来达到对对象的结合导电的目的。
- 导热，在电子胶中掺入导热材料，从而实现导热的目的。

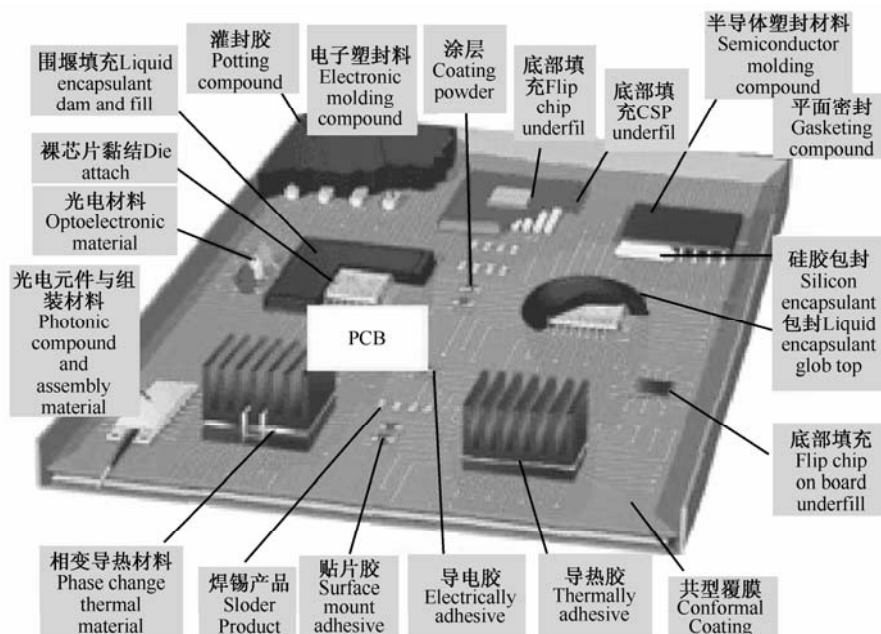


图 7.1 电子胶在电子产品上的应用场景

7.1.2 电子装配中的胶黏剂分类

现代电子装配中胶黏剂主要有以下几类。

- (1) 保护类胶黏剂。
- (2) 表面贴装用胶黏剂。



- (3) 导电胶、导热胶。
- (4) LCD 制造用胶黏剂。
- (5) 通用黏结类胶黏剂。

7.1.3 黏结理论

黏结是采用胶黏剂对两种或两种以上固体材料实施固定的过程。

牢固的黏结力是制备优良黏结接头的重要条件之一。然而，黏结力十分复杂，不像人们对螺栓或焊接那样容易理解，黏结的形成及其本质，无论在理论上还是在实际的应用中都影响着黏结技术的发展，20 世纪 40 年代以后提出了各种黏结机理，其中，主要的理论有吸附理论、扩散理论、电子理论、机械互锁理论和化学键理论等几种。

1. 吸附理论

吸附理论是以分子间作用力及范德华力为基础，在 20 世纪 40 年代提出并建立的。

吸附理论认为：黏结力的主要来源是黏结体系的分子间作用力，是胶黏剂分子与被黏结物分子在界面上相互吸附所产生的，是物理吸附和化学吸附共同作用的结果，而物理吸附则是产生黏结作用的普遍性原因。同时吸附理论也认为：胶黏剂对被黏物表面的吸附作用来自于固体表面对胶黏剂分子的吸附作用，这种吸附作用可以是分子间作用力，也可以是氢键、离子键和共价键，很显然，如果能在被黏物表面与胶黏剂之间形成化学键，就更有利于物体的黏结。

这种理论的缺点是：对于胶黏剂与被黏物之间的黏结力大于胶黏剂本身的强度时无法用吸附理论圆满解释；无法解释高分子化合物极性过大，黏结强度反而降低的现象。

2. 扩散理论

扩散理论是 Boroznlui 等人首先提出来的，当 A、B 两种材料紧密结合，如果能够互溶，就能形成溶液。但扩散黏结难以得到真实的界面，而是一个中间相，在这个中间相中两种材料逐渐相互拥有对方的特性，扩散理论认为高聚物的自黏附和相互间黏结是由于界面上高聚物分子相互扩散所致，他们在实验上发现黏结点的强度与两种分子相接触时间、高聚物分子量等参数有关，并从扩散理论出发计算得到与实验十分相符的结果。

扩散理论能很好地解释发生在塑料制品间的黏结现象，许多塑料的黏结都是采用溶剂焊接，就是在两种被黏物间施加溶剂，然后使其黏结在一起。当溶剂存在时，塑料部件中的聚合物分子会相互扩散，随着溶剂的蒸发，相互扩散的塑料部件分子就被固定下来了，使得部件黏结在一起。

扩散理论在解释聚合物的自黏作用方面已得到公认，但对不同聚合物之间的黏结、是否存在穿越界面的扩散过程，目前尚在争议阶段。

3. 电子理论

由物理-化学基础知识可知，所有的原子都有一种电负性，原子和分子的结合也有电负性，固体表面也能表现出电负性或电正性，它是原子和电子间吸引力强度的量度，根据最近



的黏结科学文献，可以这样认为：电正性表面为碱性，电负性表面为酸性。Skinner, savage 和 Rutzler 在 1953 年提出以双电层为理论基础的静电理论。该理论认为金属与非金属材料密切接触时，由于金属对电子的亲合力低，容易失去电子，而非金属对电子的亲合力高，容易得到电子，所以电子可以从金属移向非金属，这样就在界面产生接触电势，形成双电层，双电层电荷的性质相反，产生静电引力。一切具有电子供给体和接受体的物质都可以产生界面静电引力作用。

缺点：静电理论不能解释温度、湿度及其他各种因素对剥离实验结果的影响；在理论上，只有当电荷密度达到 1021 个电子/cm^3 时静电引力才会发生显著作用，但是实验测得的电荷密度只有 $109 \sim 1019 \text{ 个电子/cm}^3$ ，因此，即使界面中存在静电作用，其对黏结强度的贡献也是可以忽略不计的。

4. 机械互锁理论

机械互锁理论认为黏结力的产生主要是由于胶黏剂在不平的被黏物表面形成机械互锁力。例如，在纸、木材和泡沫等多孔性材料的黏结时，胶黏剂渗透到这些材料的孔隙之中，固化后胶黏剂与被黏物就牢固地结合在一起。因为，任何即使用肉眼看来表面非常光滑的物体，在微观状态下还是十分粗糙、遍布沟壑的，胶黏剂可以轻易地渗透到这些凹凸不平的孔隙中，并部分的置换出这些孔隙中的空气，固化之后的胶黏剂与被黏物之间形成倒钩，这样，胶黏剂在与被黏物体分离时会受到被黏物的阻碍，表现出“锁匙”效应。

缺点：不能用于解释非多孔性的平滑表面的黏结。

5. 化学键理论

化学键理论又称主价键力，存在于原子（或离子）之间，化学键理论由 Hofrichter 在 1948 年提出。该理论认为胶黏剂与被黏物表面产生化学反应而在界面上形成化学键结合而把两者牢固的连接起来。化学键理论胶黏剂分子和黏合表面的电子、质子相互作用为基础的，所有已知的光谱研究结果均表明这些相互作用都是特定的，它们可以通过黏结表面化学键的分子轨道的量子力学理论来描述。由于化学键力要比分子间作用力高出 $1 \sim 2$ 个数量级，如能在黏结表面产生化学键结合，则是较理想的黏结方式之一。化学键力包括离子键力、共价键力、配位键力。离子键力有时候可能存在于无机胶黏剂与无机材料表面之间的界面区内；共价键力可能存在于带有化学活性基团的胶黏剂分子与带有活性基团被黏物分子之间，绝大多数有机化合物都是通过共价键所组成的。现代测试技术已经证明，酚醛树脂与木材纤维之间就存在着化学键；酚醛树脂、环氧树脂、聚氨酯等胶黏剂与金属铝表面也有化学键结合。

缺点：虽然化学键的强度比范德华力高很多，但一个黏结接头中普遍而广泛存在的作用力仍然为范德华力，因为化学键的形成除了要求界面分子接近要达一定距离之外，同时还必须满足一定的量子化学条件才能形成，所以总的化学键数比次价键数少。



7.2 保护类胶黏剂

7.2.1 概述

1. 基本作用

保护电子元器件免受化学、机械、电、热等环境的有害影响。

2. 分类

- (1) 灌封胶。
- (2) COB 包封胶。
- (3) 底部填充胶。
- (4) 敷型涂覆胶。

7.2.2 灌封胶

灌封胶用于电子元器件（如继电器、蜂鸣器、连接器、传感器、变压器 ED 等）及模块（如整流桥、DC/DC 电源模块、汽车点火线圈等）装配的最保护，提高元器件的机械强度，提供绝缘性，加强抗振动和抗冲击能力。如图 7.2 所示，给出了集中应用案例。



图 7.2 灌封胶应用案例

对灌封胶的性能要求：

- 灌封胶应具有对元器件基体/材料良好的黏结力、低的收缩性和低的内应力。
- 对大型元器件的灌封，还要求灌封胶固化过程中有较低的热量释放。

灌封胶主要有三类：有机硅灌封胶——用于耐高温场合；聚氨酯灌封胶——最高使用温度是 120℃；环氧灌封胶——用途最广。

7.2.3 COB包封胶

如图 7.3 所示，COB 包封胶用于柔性线路板或刚性线路板板（Chip On Board, COB）（也称裸芯片）包封，保证硅片免受机械、腐蚀以及电气接触的损害。

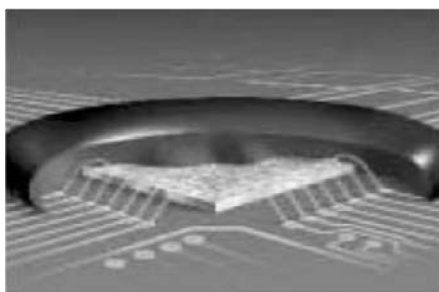


图 7.3 COB 包封胶示意图

工艺要求：液体包封胶设计有一定的流动性，可在板载芯片上部流动形成一定形状的保护层（Glob-Tops）。一些情况下先用高黏度围堰型包封胶在 IC 周围制作围坝，再把液体包封胶灌入坝内，以防止液体包封胶流到线路板其他区域。

性能要求：COB 包封胶应具有低的离子含量和低的热膨胀系数，热膨胀系数是 COB 包封胶的关键指标，其基本要求是 COB 包封胶的热膨胀系数要和芯片、基材、金线相匹配，以减少黏结应力（特别是热循环条件下的应力）。

7.2.4 底部填充胶

底部填充胶主要用于线路板倒装芯片（Flip Chip）的保护，也用于倒装芯片的制造，如图 7.4 所示。其作用机理是在倒装芯片的应用中，底部填充胶在毛细管作用下流入底部，如图 7.5 所示。



图 7.4 底部填充胶应用实例

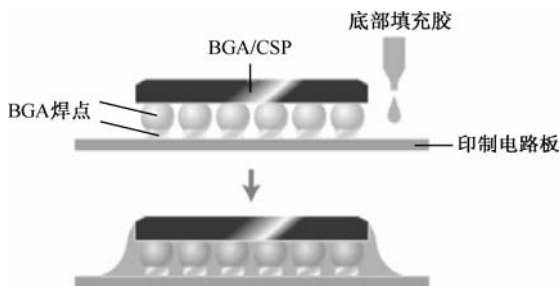


图 7.5 底部填充胶作用机理

7.2.5 敷型涂覆

覆型涂覆（Conformal Coating）又称三防涂覆，是指根据电子设备寿命期、环境剖面及三防等级要求，对其系统设备和某些特定单元及部件采取的防湿热，防霉菌，防盐雾腐蚀的防护工艺措施。从传统定义上说，电子设备及材料“三防”是指：防潮、防霉、防盐雾腐蚀。在实际环境中，湿热、盐雾、工业腐蚀气体和太阳辐射等是造成电子设备和材料腐蚀的重要环境因素，因此现代“三防”的概念应当是：防湿热、防霉菌、防腐蚀。



1. 敷型涂覆的目的

(1) 敷型涂覆的目的是使 PCBA 在工作和储存期间能抵御恶劣环境对电路和元器件的影响, 同时增加器件的抗冲击振动性, 达到防潮、防霉、防盐雾腐蚀的能力。

(2) 防止高压电路导线间“爬电”和潮湿环境下焊点间漏导增加、短路甚至于击穿。

敷型涂覆有多种材料, 包括聚氨酯、有机硅、丙烯酸酯、丙烯酸聚氨酯以及环氧树脂。

2. 性能要求和选用

敷型涂覆胶的选择取决于线路板对耐化学性、机械性(抗磨蚀)的要求、对可修理性的要求以及固化方式。

聚氨酯有良好的耐化学、耐潮湿、耐磨蚀性, 但是很难返工修理。

有机硅有着最高的耐热性但不适合用于耐磨蚀的场合。

环氧树脂具有优异的耐化学和机械性能, 但坚硬的胶层不适合对应力敏感的部件, 而且可维修性很差。

丙烯酸酯聚氨酯有快速固化和优异的耐溶剂性。

另外, UV 固化的丙烯酸酯、丙烯酸聚氨酯或丙烯酸环氧树脂也得到了广泛应用。

7.3 表面贴装用胶黏剂

表面贴装胶用于波峰焊焊接和回流焊接前元器件和芯片固定以保持元器件在印刷电路板上的位置, 确保在线传送不会丢失。

如图 7.6 所示, 表面贴装胶可采用多种方法施工, 如加压注射点胶、针式转移、丝网印刷等, 每种方式对胶黏剂的流变性要求有所不同。

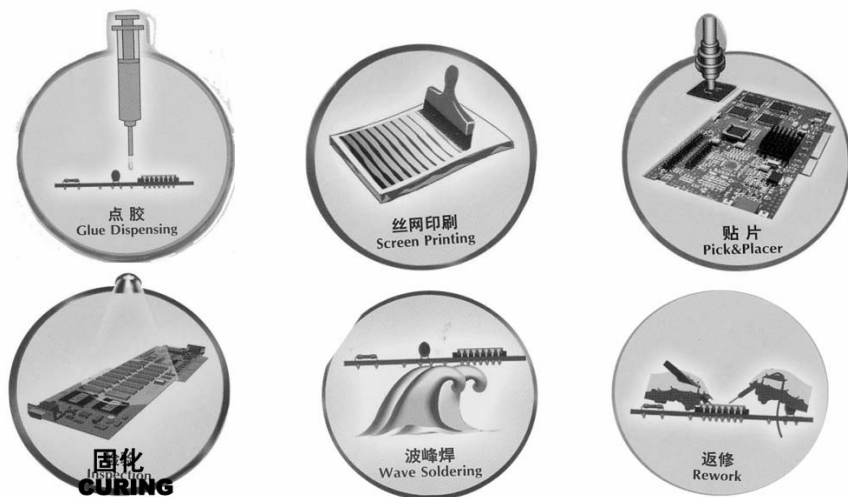


图 7.6 表面贴装用胶黏剂的应用方法



对贴片胶的性能及储运要求:

单组分热固化环氧胶是表面贴装胶最佳选择,这种高触变性胶黏剂由双酚 A 或双酚 F 环氧树脂和潜伏性固化剂等组成。固化程序一般为 $150^{\circ}\text{C}/90\text{s}$,货架寿命一般为 5°C 时 6 个月或稍长。

丙烯酸酯类贴装胶也有应用,这类胶为 UV 固化和热固化,UV 固化可以快速定位,但大多数胶层由于在元器件下面不易受光的直接照射,因此还需要热固化过程。这类胶货架寿命一般较长,常温可达 12 个月,但总体性能要比环氧胶差。

7.4 导电胶、导热胶

导电胶、导热胶包括:

- 各向同性导电胶;
- 各向异性导电胶;
- 导热胶。

7.4.1 各向同性导电胶

各向同性导电胶(ICAs)广泛应用于电子工业中不允许锡焊的场合,典型的应用有芯片粘贴、元器件与 MCMs 模块连接、表面贴装维修应用和电子装置防电磁波辐射等。

1. 各向同性导电胶的组成

各向同性导电胶由具有绝缘性的胶黏剂为基料,添加高含量的银粉组成。胶黏剂和银粉的选择取决于它的最终用途。芯片黏结用的导电胶一般由环氧树脂或聚酰亚胺为基料,添加 70%~80% 质量份的片状银粉组成。片状银粉是导电胶的最佳选择,因为表面有氧化层的银粉仍然可以导电。

2. 各向同性导电胶的选用

聚酰亚胺导电胶由于比环氧导电胶纯净(依据离子污染)而广泛用于芯片黏结,聚酰亚胺导电胶热稳定性好。由于聚酰亚胺导电胶通常含有溶剂并且比环氧导电胶固化温度高,因此目前市场主要由高纯度环氧导电胶占领。

单组分热固化环氧导电胶用于芯片模块(MCM)黏结和表面贴装技术(SMT)局部修理。单组分热固化环氧导电胶基料为酸酐、双氰双胺或咪唑加成物固化的环氧胶,它需要低温储存。双组分室温固化环氧导电胶(胺固化)主要用作修理用途。

防电磁波辐射导电胶所要求的导电性较低,一般要比银填充的导电胶低 4~5 个数量级。也就是说,导电胶中可以添加较便宜的导电粒子,如表面镀银的铜粉、片状镍粉和炭黑等。由于要求防电磁波辐射导电胶对连接表面适应能力强,因此室温或热硫化硅橡胶通常选作防电磁波辐射导电胶的基料。



7.4.2 各向异性导电胶

如图 7.7 所示, 各向异性导电胶只在一个方向上导电, 而在另外方向上电阻很大或几乎不导电, 通常称作 z 轴导电胶。如图 7.8 所示, 这种导电胶广泛应用于 LCD 装配, 由于它可以解决 LCD 装置和驱动模块间的导电连接, 而锡焊不适合连接玻璃基材。

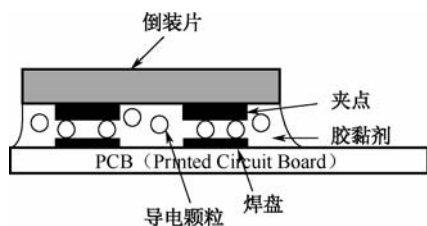


图 7.7 各向异性导电胶装配

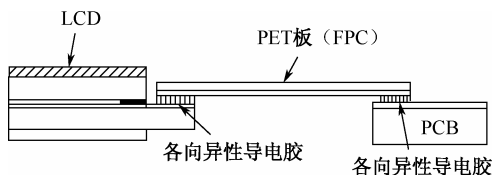


图 7.8 在 LCD 上装配

各向异性导电胶组成和导电原理介绍如下。

各向异性导电胶的导电粒子填充量大大低于各向同性导电胶（ICAs）的填充量, 导电粒子的填充量通常为导电胶体积的 5%~10%, 而各向同性导电胶导电粒子的填充量要大于导电胶体积的 30%。导电粒子为球形微粒并均匀分散。

这类导电胶基材一般为单组分环氧胶, 通常做成胶膜, 在加温 180℃ 并加压下, 20 s 固化, 在加压过程中, 由于导电粒子和树脂的流动性不同, 此时胶膜中的黏料熔融后流到各电极之间的槽中, 形成绝缘区, 而在电极和电路之间形成导电连接。也就是说, 在压力的作用下, 使导电粒子在胶层厚度方向上的含量增加, 在胶层横向方向上的含量降低, 结果使导电胶的导电性具有各向异性的特点。

如图 7.9 所示, 给出了各向异性导电胶的导电机理。

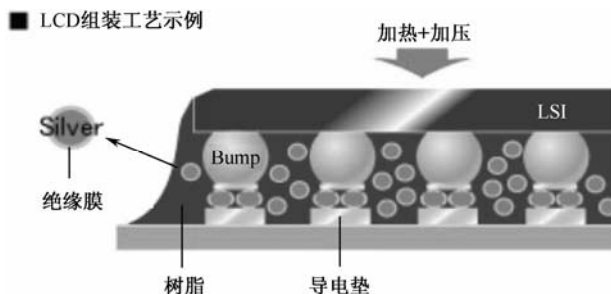


图 7.9 各向异性导电胶导电机理

7.4.3 导热胶

导热胶通常用于散热片和发热电子元器件（如图 7.10 所示为大功率电子装置）表面之间的连接, 它的作用不仅仅是提供散热片和发热电子元器件之间的连接, 更重要的是实现发热电子元器件和散热片之间的热传递, 减少传统机械固定中结合面之间空气的隔热作用。

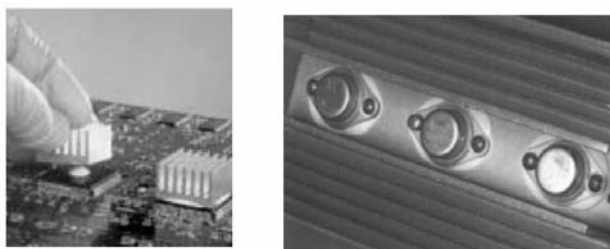


图 7.10 导热胶的应用

导热胶的种类和组成介绍如下。

导热胶由胶黏剂基料和大量的既绝缘又导热的填料组成。

典型的胶黏剂基料有环氧树脂、有机硅、聚氨酯、丙烯酸酯，溶剂型胶、热熔胶、压敏胶带也可使用。导热填料通常为氧化铝、氮化硼、氧化锌、氮化铝等。

导热填料添加量为 70%~80%。胶黏剂基料导热系数一般为 $0.17\sim 0.3\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$ ，添加导热填料后的导热胶导热系数可达 $2\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

7.5 用于LCD制造中的胶黏剂

7.5.1 LCD的发展

如图 7.11 所示，第一代液晶显示器（Liquid Crystal Display, LCD）为扭曲向列（Twisted Nematic）TN 型显示器，而后又出现了 STN（Super Twisted Nematic, 超扭曲向列）型 LCD 和 DSTN（Double Super Twisted Nematic, 双超扭曲向列）型 LCD，而最新型液晶显示器已发展为带机载电子组件的 TFT（Thin Film Transistor）型液晶显示器（主动矩阵显示器），结构变得越来越复杂。

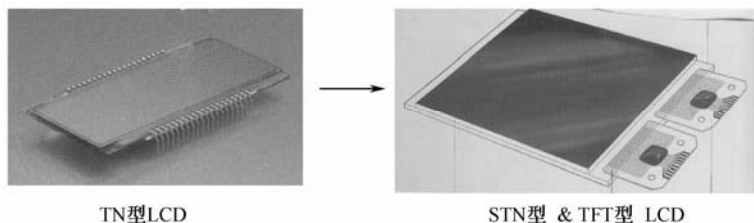


图 7.11 LCD 封装

LCD 广泛应用于电子设备上，包括：

- 电子表、电子钟；
- 计算器、游戏机；
- 手机；
- 计算机；



- 电视机；
- 摄像机、数码相机；
- 测试仪读数盘；
- 汽车电子仪表盘；
- 个人数字助理（PDA）。

7.5.2 电子胶在LCD制造过程中的应用

如图 7.12 所示，给出了电子胶在 LCD 制造过程中的应用。

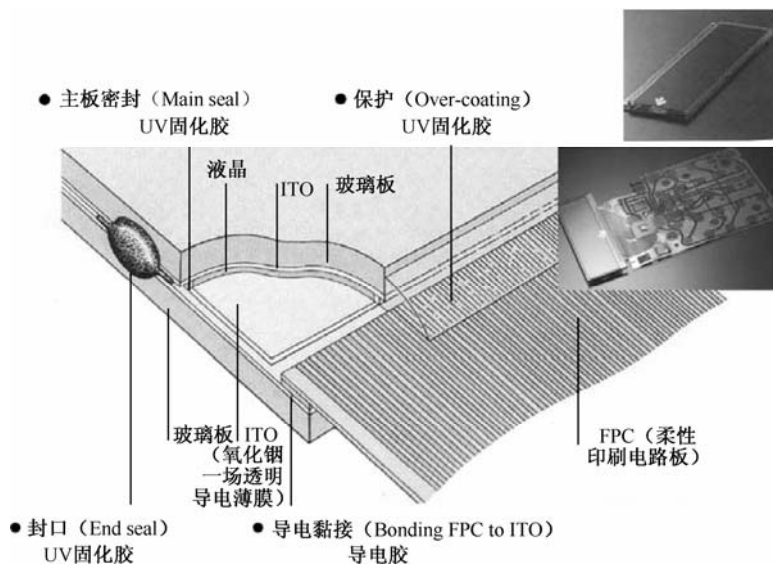


图 7.12 电子胶在 LCD 制造过程中应用场景

1) 主板制造 (Adhesives For LCD-Panel Assembly)

- (1) 光电组件对位临时固定 (Temporary Plate Fixing)。
- (2) 主板密封 (Main Seal)。
- (3) 端口密封线 (End Seal)。

2) 配件装配 (For attachment of accessories on LCD-panel)

- (1) 金属销钉黏结 (Terminal pin bonding), UV Curing Adhesive。

如图 7.13 所示，金属销钉黏结不需要胶黏剂与液晶接触，在耐溶剂性方面，对胶黏剂的要求并没有那样严格。要求胶黏剂固化后对金属及玻璃黏结力高，并具有优良的耐湿热老化性能。

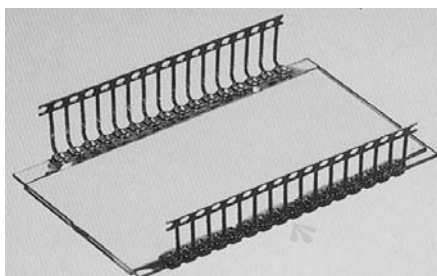


图 7.13 金属销钉黏结

(2) 柔性线路板 FPC 和薄膜电极 ITO 的导电黏结及保护 (Bonding FPC to ITO and Over-coating)。

(3) 玻璃上的倒装芯片 (FCOG) 粘贴及保护 (Chip-on-glass Bonding and Over-coating)。

液晶显示器与驱动集成电路的连接通过柔性电路板连接, 任何灰尘或湿度的污染都很容易导致电路干扰, 可使用紫外光固化胶黏剂对接口进行保护, 如图 7.14 所示。

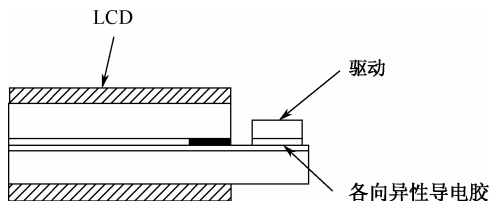


图 7.14 紫外光固化胶黏剂对接口保护

7.6 其他通用黏结类胶黏剂的应用领域

1. 微电机

如图 7.15 所示, 给出了电子胶在微电机上的集中应用场景。

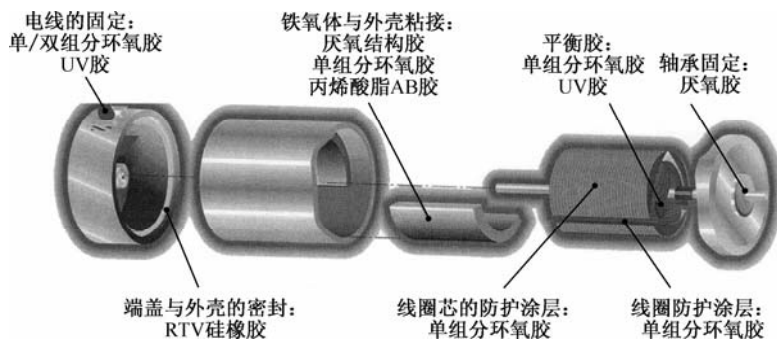


图 7.15 电子胶在微电机上应用



2. 电声器件

主件黏结——磁碗与磁片及顶片、磁碗与盆架、前盖与盆架一般采用丙烯酸酯 AB 胶、厌氧胶、UV 胶、瞬干胶等。

附件黏结——振膜与盆架、振膜与音圈一般采用氯丁胶、UV 胶、瞬干胶等。

引线固定——八字线固定 RTV 硅橡胶、UV 胶等。

3. 光电装置

通常采用电子胶有瞬干胶、UV 胶、快固环氧胶等，固定场景为：

- 光电头的固定；
- 物镜的固定；
- 调节盘的固定；
- 固定盘的固定。

4. 电感、电磁类器件

- (1) 铁氧体磁芯与接脚的固定，采用单组分环氧胶。
- (2) 铁氧体磁芯的黏结，采用单组分环氧胶。
- (3) 铁氧体磁芯与框架的固定，采用单组分环氧胶、厌氧-紫外光固化 UV 胶。

5. 其他

- (1) PCB 上元器件固定，通常采用氯丁胶（黄胶）、聚酯胶（白胶）、RTV 硅橡胶等。
- (2) 跳线固定、线圈终端固定，一般选用氰基丙烯酸酯瞬干胶、UV 胶、RTV 硅橡胶等。
- (3) 塑料壳体黏结、按键黏结、光盘黏结，通常采用氰基丙烯酸酯瞬干胶、UV 胶、单组分环氧胶等。









思考题 7

- (1) 电子胶在电子装联中的作用有哪些？
- (2) 电子胶是如何分类的？
- (3) 当前有几种胶接理论？
- (4) 灌封、底部填充、敷型涂覆的作用有哪些？
- (5) 常见表面贴装用胶黏剂有哪几种作业方式？
- (6) 各向异性导电胶的作用原理是什么？
- (7) 导热胶是如何组成的？
- (8) 电子胶在 LCD 制造过程中常见的应用有哪几种？

第8章 螺装工艺技术



本章要点

-  螺装基础知识
-  螺装技术要求
-  螺装工艺原理
-  螺装工具——电批
-  螺装工艺参数
-  螺装故障模式、原理和解决方法



8.1 螺装基础知识

8.1.1 螺装工艺概述

螺装工艺是指采用螺纹方式连接坚固的装配工艺；螺装是保证结构件机械安装的重要工艺。

螺装工艺要求在不损害螺钉和工件的情况下，将正确的螺钉完整的锁进并紧固在指定位置上。

螺装最终目的是要达到结构件之间的坚固（也叫打紧），因此使用装配工具将螺纹连接件与螺纹紧固件紧密结合在一起，并保证一定预紧力是十分必要的。通常为螺钉反拧扭矩的紧固力，约为装配扭矩的 10%，具体大小参考装配等级要求和螺纹直径确定。

在螺装过程中，为达到一定预紧力而通过装配工具施加在螺纹紧固件上的扭矩，其国际单位为牛顿·米（N·m）；工程单位为千克力·厘米（kgf·cm）；换算关系为 $0.98 \text{ N} \cdot \text{m} = 10 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ 。

螺装通常使用螺纹紧固件，它是通过螺纹紧固的紧固件的统称，如螺钉、螺栓、螺母等；而螺纹连接件则是通过螺纹连接被紧固的紧固件、元器件的统称，如被螺钉安装的产品等。

8.1.2 影响螺装的主要因素

影响螺装主要因素有螺纹类型、螺钉等紧固件类型与尺寸、装配工具、装配方式等。

1. 螺纹类型

螺纹一般分为机械牙螺纹和自攻螺纹（三角自攻螺纹要有底孔，铁板/木板自攻螺纹可无底孔）。

（1）机械牙螺纹为预先攻好的螺纹，可用于重负荷场合，扭矩要求较大，紧固程度要求高的场合，可重复松紧；分为粗牙和细牙（细牙螺纹加工成本高）。

（2）自攻螺纹用于负荷较轻场合，如 STP/CTP 型用于金属材料自攻锁紧，PTP 型用于 ABS、PP 等塑料材料自攻锁紧，BTP 型用于金属和塑料。

2. 螺钉等紧固件类型与尺寸

（1）头部形状：六角头（见图 8.1）、内六角（见图 8.2）、十字槽、一字槽。其中，十字槽头部形状有：盘头、沉头、半沉头、扁圆头、球面锥柱头、半圆头、带法兰盘头、小盘头。

（2）性能等级：由材料和热处理的机械性能决定，3.6~12.9 等级别；等级越高，抗拉强度、硬度等性能越好；参考国标《GB/T 3098.1—2000 紧固件性能 螺栓、螺钉和螺柱》。

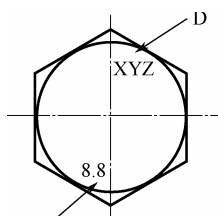


图 8.1 六角头（外六角）

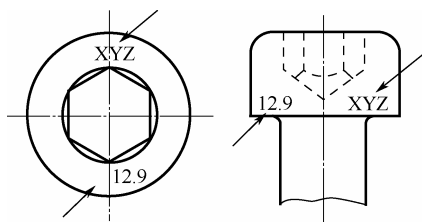


图 8.2 内六角

(3) 公称直径：普通螺纹，直径为 1~300 mm，参考国标《GB/T 196—2003 普通螺纹 基本尺寸》。

如常用的 M3、M4 螺钉，即为粗牙螺纹公称直径为 3 mm、4 mm（参考国标《GBT 9144 2003 普通螺纹 优选系列》）。

(4) 特殊螺钉：如图 8.3 所示，包括塑料螺钉、SMT 表贴等其他个性化需求的螺钉、螺母、螺柱。

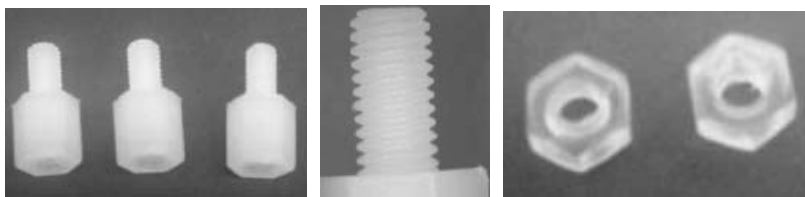


图 8.3 特殊螺钉（塑料螺钉）

3. 装配工具

电批（碳刷电机、无碳刷电机、无线电批、按压式、拉杆式）、自动电批、风批、手批等；使用方法参考电批操作规范。

4. 装配方式

螺钉直接装配、螺钉与螺柱配合装配、螺栓与螺母配合装配、需弹片与垫圈的组合装配、特殊装配方式（如槽内的螺钉，需要增加套筒固定螺钉）。

不同装配方式，对螺装操作步骤都不一样，但都必须垂直方向进给安装。

如图 8.4 所示，给出了螺栓、螺钉、螺母与螺帽、螺母垫圈与螺母等几种装配方式。

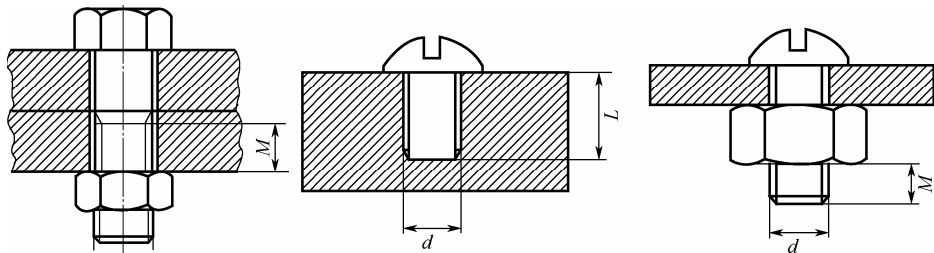


图 8.4 装配方式

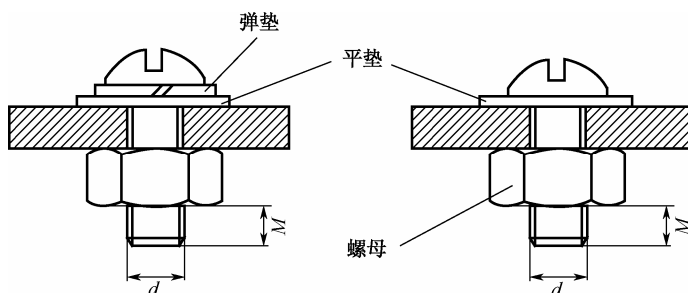


图 8.4 装配方式 (续)

8.2 螺装技术要求

1. 对材料的技术要求

- (1) 螺钉、螺母、螺栓：符合国标和设计要求，如螺纹、头部形状与尺寸、公称直径、材料和表面处理等，不能存在螺纹缺少、螺距不等、尺寸偏差、变形弯曲等缺陷。
- (2) PCB、元器件、结构件：符合国标和设计要求，满足产品质量要求。
- (3) 厌氧胶：锁紧防松作用，可以有效保护螺钉，隔绝空气，避免氧化腐蚀生锈。
- (4) 螺钉紧固胶：也称防松胶、耐落胶，用于防震、防松、密封等场合。

2. 对工具的技术要求

- (1) 装配工具：符合工具检验规范，能正常使用，经过正确校验。
- (2) 工装夹具：满足设计要求，不能磨损严重，需符合产品防静电、定位等要求。

8.3 螺装工艺原理

螺装装配原理是通过正确的电批头，将电批的电动扭力，准确有效地传递到螺钉紧固件上，并施加合适的下压力，保证批头与螺钉紧密接触，不松脱，垂直将螺钉锁紧到位，并保持一定的锁紧力。

对于已经攻牙的机械牙螺纹，扭矩用于克服螺钉与连接件之间螺纹的摩擦扭矩（40%），和螺纹之间的反拧扭矩（10%），在最后快安装到位时，需克服紧固件与连接件接触面之间的摩擦扭矩（50%）；下压力不能过大，避免螺纹之间摩擦过大；如果批头打滑，可能螺钉头的开槽与批头形状不匹配，扭矩施加后，批头受斜向力，为避免批头滑出，则需要施加较大下压力。

对于自攻螺纹，扭矩主要用于切割螺纹；下压力应适中，太大会破坏自攻的螺纹，正常情况下，握住电批即可，螺钉头部开槽与电批为横向扭矩，不会滑出，由于批头和模具磨损，大多数生产情况下，是需要下压力的。



多个螺钉装配时，需按照对角、对称方向的顺序安装；如有密封或特殊紧固要求的，必须按顺序先预紧、再锁紧所有螺钉（预紧扭矩为锁紧扭矩的 50%~80%，可参考 GB T16823.2 螺纹紧固件紧固通则）；避免应力与形变的形成和累积，影响安装和密封要求。

如图 8.5 所示为几种成组螺钉安装顺序示意图，可按照数字先后顺序完成螺装。

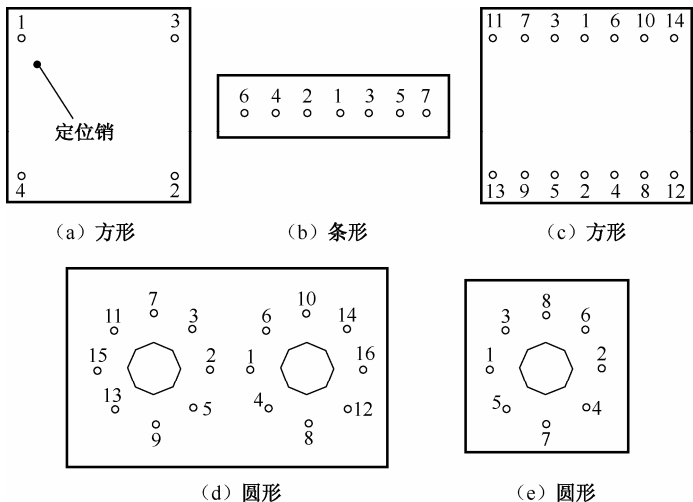


图 8.5 成组螺钉安装顺序图

整个螺装工艺过程分为 3 个主要阶段：布置准备、螺钉安装、完工确认。

1. 布置准备

布置准备确保工具/夹具的正确选择和设置，包括电批与批头的选择、安装和校验，扭矩和方向的设置和确认，以及夹具的设置调整与确认。常规布置准备工艺流程如图 8.6 所示。

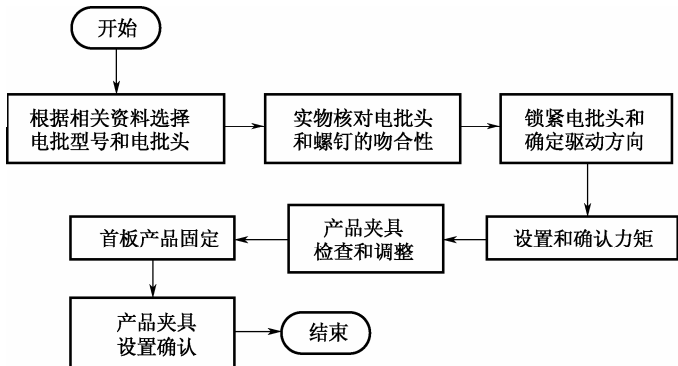


图 8.6 常规布置准备工艺流程

以上各工序的要点如下。

(1) 电批和批头根据参数表选择并验证，在工艺规程中给予指定。在换线转产时需要按照指导书，选择正确电批型号与批头。电批选用按照如下原则：

- 所需扭矩 < 电批最大扭矩 < 3 倍所需扭矩；
- 电批最大扭矩 < 0.8 倍所需扭矩。



(2) 安装电批头后,取实物螺钉和电批头进行吻合验证确认,用手左右旋转,确认批头受力方向。

(3) 设置并确认扭矩,参考参数表,设置扭矩大概值,在产品试产阶段,需要充分验证,检测出最小破坏扭矩和最小安装扭矩;设定扭矩为 0.6 倍的最小破坏扭矩;锁紧固定扭矩调节环;扭矩测试方法,参考电批操作规范。

(4) 安装批头,将批头安装到电批卡环内并确认一定的灵活度,不能完全锁紧无任何活动余量。

(5) 夹具检验与调整,夹具需牢固准确的固定产品,避免安装产品时的震动和晃动。

(6) 产品首件确认,验证螺钉是否安装到位,产品是否固定牢固等。

2. 螺钉安装

将螺钉按顺序正确地安装到产品上。

(1) 取产品并固定:

- 产品如果较重或应力敏感,则需要双手取放产品。
- 如尺寸较大的系统板,双手从两边位置同时抬起单板(如图 8.7 所示),并将产品准确固定在工装中(如图 8.8 所示)。
- 不允许单手从夹具或托盘上,拾起单板或其他应力敏感产品。

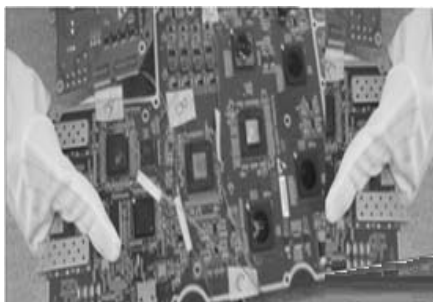


图 8.7 双手从两边位置同时抬起单板

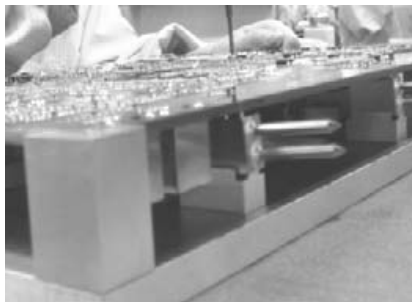


图 8.8 将产品准确固定在工装中

(2) 取螺钉:

- 不同的螺装方法,取螺钉方法不一样。
- 如手工取,螺钉机供给,全自动螺钉机供给。
- 必须保障螺钉垂直产品表面,批头与螺钉接触紧密。
- 如有弹片、垫片等,需要将弹片和垫片组合好,再进行安装。

(3) 锁紧螺钉:

- 批头和螺钉同一直线,并垂直于产品安装表面。
- 保存稳定的进给力,按对角线、对称方向的顺序进行安装。
- 如与螺母等活动的部件安装时,则需要用手或工装,将螺母固定,才能锁紧到位。

3. 完工确认

仔细检查螺钉是否装配到位,有无漏打、打滑、裂纹等不良问题(不良确定和解决方法



参考附件故障模式表)。完成后,将电批放置好(弹簧吊起或置于套筒内),并安全移开产品。

安装完工后通常使用扭力计来验证安装扭矩大小,扭力计将螺钉扭出时的最大扭矩,或者用扭力计将螺钉安装到位时的最大扭矩。

4. 更换螺钉

如果安装错误,需要更换螺钉,则需要将电批反转,取出螺钉更换,检查产品螺纹是否正常,再重新安。

螺钉安装和完工确认两个工艺阶段的流程如图 8.9 所示。

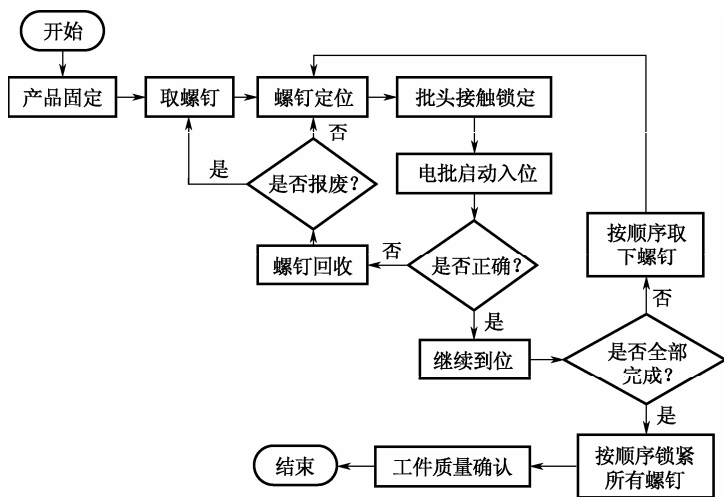


图 8.9 螺钉安装和完工确认工艺流程

8.4 螺装工具——电批

8.4.1 电批分类

电批按照使用电源情况可分为有源电批和无源电批。

1. 有源电批

如图 8.10 所示为有电源线,是靠电源提供动力的电批。由电源供应器、电批和电批头组成。

2. 无源电批

如图 8.11 所示为无电源线,是靠电池提供动力的电批。由充电电池、电批和电批头组成。



图 8.10 有源电批



图 8.11 无源电批

8.4.2 电批使用

在使用电批时，需选择合适电批头，设定好扭矩；接通电源启动，检查电批转速、刹车等是否正常。












1. 电批头和螺钉的对应情况

电批顶部形状有一字和十字之分，与螺钉开槽形状对应；端部有圆形（卡接式）和六角形，尺寸为 $\phi 4$ 和 $\phi 5$ 两种，与电批固定孔形状对应。

(1) 十字电批头与螺钉对照表参见表 8.1。

表 8.1 十字电批头与螺钉对照表

单位：mm

十字电批头类型		批头规格描述	对应螺钉直径
 ■ Philips ■ Pozidriv  	No.0 	$\phi 5*60*0\#$	1.4/1.7/2/2.3/2.5/2.6
	No.1  	$\phi 4*40*2.5*1\#$	2/2.2/2.5
		$\phi 4*60*1\#$	2/2.2/2.5/2.9/3.0
		$\phi 5*60*1\#$	2/2.2/2.5/2.9/3.0
		$\phi 4*40*1\#$	2/2.2/2.5/2.9/3.0
	No.2  	$\phi 4*40*2\#$	2.9/3.0/3.5/4/4.5/5
		$\phi 4*60*2\#$	2.9/3.0/3.5/4/4.5/5
		$\phi 5*40*2\#$	2.9/3.0/3.5/4/4.5/5
		$\phi 5*60*2\#$	2.9/3.0/3.5/4/4.5/5
		$\phi 5*80*2\#$	2.9/3.0/3.5/4/4.5/5
	No.3  	$\phi 8*200*3\#$	6~8
		$\phi 8*250*3\#$	6~8
	No.4  	$\phi 10*250*4\#$	10~12
		$\phi 10*300*4\#$	10~12



(2) 一字电批头与螺钉对照表参见表 8.2。

表 8.2 一字电批头与螺钉对照表

单位：mm

	一字电批头		批头规格描述	对应螺钉直径
	<i>a</i>	<i>b</i>		
	3	0.45	$\phi 4*40*3\#$	2
	4	0.6	$\phi 4*40*4\#$ $\phi 5*60*4\#$	2.2/2.6/3 2.2/2.6/3
	5	0.6	$\phi 5*60*5\#$	3.5

(3) 其他套筒类，依据套筒与螺钉的配合情况对应。

2. 电批扭矩值参考

电批扭矩值参考参见表 8.3 和表 8.4（实际以连接等级和材料特点，现场检测确定）。

表 8.3 螺钉锁紧扭矩参考表（非自攻丝螺钉）

螺纹规格	被拧入件材质及相应锁紧扭矩值（N·m），控制精度±10%					
	一般连接			高紧密连接		
	钢（直接攻丝、翻孔攻丝）、压铸铝	钢（铆接螺母、螺栓连接）	铝、铜、塑料	钢（直接攻丝、翻孔攻丝）、压铸铝	钢（铆接螺母、螺栓连接）	铝、铜、塑料
M2	0.15	0.15	0.08	0.25	0.25	0.15
M2.5	0.3	0.3	0.16	0.45	0.55	0.3
M3	0.5	0.5	0.3	0.8	1.0	0.6
M4	1	1.2	0.6	1.4	1.6	1.2
M5	1.3	2	1	2.8	3.0	2.0
M6	2.8	3	1.5	4.8	5.0	3.0
M8	6.5	7.0	3.5	—	—	—
备注	<p>① 本表中数值是基于螺钉的强度等级为 4.8、直接攻丝基材钢板的屈服强度大于 200 MPa、压铸铝选用 ADC12，其他铝材的屈服强度大于 175 MPa 的推荐值。</p> <p>② 对于大于 M3 的面板装配螺钉，可按本表的(65~80)%取值，固定插箱的面板皇冠螺钉可选螺栓一般连接值的 80%。</p> <p>③ 当两种连接材料材质不同时，选材料强度较低的扭矩值（如 M2.5 的外锯齿锁紧组合螺钉，装配在 PCB 上，必须考虑 PCB 的材料特点，现场验证，扭矩可设定为 0.25N·m 左右。</p>					

表 8.4 基材为塑料或铝件扭矩参考表（自攻丝螺钉）

螺纹公称尺寸	锁紧扭矩值（N·m），控制精度±10%
ST2.6	0.35
ST2.9	0.6
ST3.3	0.7
ST4.2	1.65
ST4.8	2.05
备注	<p>① 对于较大、较重的结构件以及有特别震动防松、气密要求的结构件选用高紧密连接。例如，机柜装配主要受力件、插箱托轨装配以及有气密和屏蔽要求的各类压铸件壳体，除此以外其他的选用一般连接。</p> <p>② 表 8.3 和表 8.4 的扭矩值，为参考值；如有特殊要求，以产品工艺中规定的扭矩为准。</p> <p>③ 由于不易控制并破坏螺纹，塑胶制品螺钉和自攻螺钉不建议使用风批。</p>

8.4.3 电批操作注意事项

- （1）电批使用前，确认扭矩值是否满足要求；并选择正确电批头，确保批头状态满足使用。
- （2）为防止电批损伤产品，有源电批应该使用平衡器悬挂，或放在电批套筒内，悬挂高度即电批头离桌面的距离，根据单板或产品的尺寸大小调整，一般为 15~30cm。
- （3）每次锁紧螺钉时，不能重复按电批启动开关，一次自动刹车即可。
- （4）电批电动机运作时，切勿拨动正反开关，否则容易对电批的开关造成短路故障。
- （5）正常操作装配螺钉时，如个别螺钉无法拧紧或松出，用手动螺丝刀拧出。不允许加大电批扭矩，拧出不良螺钉，否则电批扭矩需要重新测试设置。
- （6）不同规格的螺钉，必须使用与其相对应的扭矩值。
- （7）单板装配时，禁止员工私自调整电批扭矩；如需要不同扭矩时，更换对应扭矩的电批。通过电批上的扭矩标签来识别。或重新校验，更换电批上的标识，方可使用。
- （8）质量控制人员应巡查电批扭矩是否与工艺要求一致，扭矩有无调整。
- （9）电批扭矩应严格按照要求调整。若需要其他扭矩值时，则用扭矩测试仪重新测量扭矩后使用。
- （10）电批应使用匹配的电源或原厂配置的电池，以免损坏电批或触电危险。

8.4.4 电批扭矩设定和校验

- （1）电批扭矩设定和校验需使用扭矩测试仪测量。
- （2）电批扭矩设定：调整扭力环，测试扭矩大小，满足产品需求后（以实际校准为准，通常为最小破坏扭矩的 60%）。
- （3）电批校验：扭矩和刻度与要求不对时，调节扭力环，直到扭矩正确。
- （4）校验周期：普通装配时电批每周校验，标识扭矩和刻度对应关系，并做记录；记录表格保存 3 个月以上。高精密装配时对电批扭矩精度要求很高，需仪器校准确定扭矩值，每天校验才能满足要求。



特殊产品对电批装配特殊要求时，请参考产品工艺文件执行，确保扭矩满足要求。

(5) 校验方法：参考“扭矩测试仪使用方法”，取下电批头，将电批放到测试弹簧上，重复3次测试，数值均在范围内，才算成功；如果数值超出范围，则需重新调整扭力环。

(6) 校验记录：对电批校验结果进行记录。

(7) 电批扭矩抽检规定：质量控制人员根据生产情况，每天每条线至少抽检一把电批，确保电批扭矩符合要求。如果不符，必须重新校验并反馈异常通知生产改善。

8.5 螺装工艺参数

1. 产品装配参数

1) 自攻螺钉装配

(1) 主要为材料、厚度等。

(2) 一般用于塑料壳件，需考虑螺柱内径尺寸（螺钉内径尺寸）、螺柱壁厚（ \geq 螺钉尺寸）、螺柱成型（不能空洞、填充紧密）等因素。

2) 机牙螺钉装配

主要为材料、螺纹尺寸、螺距等。

3) 产品装配参数

与设计和来料、装配方式关系紧密。

2. 螺钉参数（属于材料要求，参考参数表和国标）

不同类型螺钉，参数不一样，如组合螺钉、不上锡的螺钉、耐腐蚀螺钉、表贴螺钉、塑料螺钉、特殊定制的螺钉等。

3. 电批参数（具体参考电批操作规范）

(1) 扭矩：0.6 倍的最小破坏扭矩。

(2) 下压力：保证批头与螺钉紧密配合。

(3) 转速：一般选用低速；如螺钉较长且要求不高，可选用高速。

(4) 批头：

① 与螺钉头配合牢固，正常情况下，扭矩应该是水平方向的；

② 参考电批操作规范。

4. 工装参数

需要符合防静电，定位准确、牢固，保持安装位置水平垂直等要求。



5. 工艺能力等级

根据产品设计和使用环境需求, 要求工艺能力也不同。

1) 高精密的工艺要求

不允许有灰尘、振动幅度和加速度小、扭矩偏差小等特点, 如医药行业的瓶装口服液所用螺纹配合的密封盖, 必须精确扭矩。

2) 振动敏感的工艺要求

对振动幅度和加速度有要求的, 如硬盘不运行时, 允许的振动加速度为 300g/s^2 ; 在运行时, 允许的振动加速度最小为 10mg/s^2 , 对振动要求很高。

3) 普通的螺钉安装工艺要求

力矩范围 $\pm 10\%$ 左右。

4) 外箱等大螺钉安装的工艺要求

(1) 力矩大, 偏差要求不高。

(2) 可以用风批, 调节气压改变扭矩, 或者手工安装。

8.6 螺装故障模式、原因和解决方法

8.6.1 螺柱爆裂

如图 8.12 所示, 给出了螺柱爆裂故障。该故障主要出现在装配时螺钉与螺钉柱过盈配合中, 原因则有很多, 例如螺钉外径尺寸过大、螺柱内径尺寸偏小、力矩过大、螺钉材质不合格、螺柱壁厚太薄、螺柱成型不良或需装配侧与螺孔对位不准、没有垂直对准等。



图 8.12 螺柱爆裂

8.6.2 螺钉歪斜

螺钉歪斜是指螺钉未水平, 装配时不垂直; 批头晃动, 造成螺钉歪斜 (解决方法: 修理电批); 被锁紧面不水平 (解决方法: 工装调整固定), 如图 8.13 所示。



图 8.13 螺钉歪斜

8.6.3 螺钉头花或螺钉头缺失

螺钉头花或螺钉头缺失主要指螺钉头部十字槽口被损坏。原因是扭矩过小，电批安装时间长（解决方法：提高扭矩，一步安装到位）；批头晃动（解决方法：修理电批）；不匹配，批头打滑等，如图 8.14 所示。

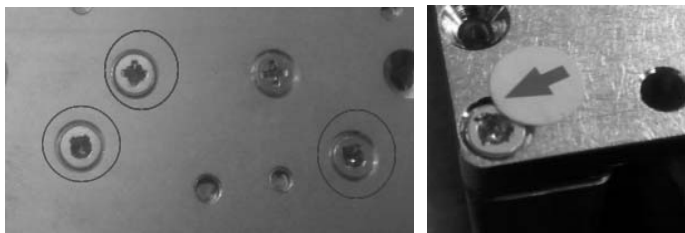


图 8.14 螺钉头花或螺钉头缺失

8.6.4 打滑丝

打滑丝是指螺钉锁到位，但会随批头旋转，未紧密咬合的现象，如图 8.15 所示。

原因为扭矩太大，锁到位后被强拧滑丝（解决方法：调小扭矩）；锁位后未及时松手，时间过长（解决方法：培训员工正确操作电批）；螺钉外径太小、太粗、咬牙太浅（解决方法：更换合适直径的螺丝）。



图 8.15 打滑丝

8.6.5 锁不到位

锁不到位是指风批锁下后自动停止不动或转速缓慢，但螺钉未完全锁下，留有间隙的现象。

原因为扭矩过小（解决方法：适当加大扭矩）；未锁到时已停手，时间太短（解决方法：

确认锁到位后，再松手，培训员工正确操作电批)。

8.6.6 顶白、起泡

顶白、起泡是指螺钉锁下后，被锁件附近有损伤，造成塑料起泡的现象。

原因：扭矩过大、螺钉与被锁件之间配合不好、螺钉过长或过粗。

8.6.7 螺钉头脱漆

螺钉头脱漆是指涂有黑漆的螺钉，表面的漆被磨损，露出金属银白色的现象。

原因：扭矩小，锁的时间过长；批头与螺钉不垂直，磨花金属漆面；批头损坏。

8.6.8 批头不良

(1) 崩牙：批头的十字槽头缺牙（易造成螺钉锁不紧、锁不到位、螺钉打花、缺口等）。

(2) 缺口、磨损：批头的十字槽头牙上有缺口或磨损现象（易造成螺钉锁不紧，螺钉打花、缺口）。

8.6.9 螺钉使用一段时间或经过高温后断裂

如图 8.16 所示，此为螺钉使用一段时间或经过高温后断裂现象。主要是螺钉氢脆；安装时未发现裂纹，但经过产品搬运、测试、高温后，发现螺钉断裂，伤口成冰糖状，表面有“发纹”，为氢脆断口；原因为螺钉在电镀过程中有氢气渗入，后续除氢不够。

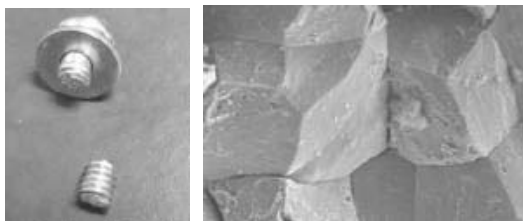


图 8.16 不良螺钉（右断裂伤口放大图片）

8.6.10 螺牙打花现象

螺牙存在径向裂纹，在使用过程中裂纹扩展导致螺牙失效，如图 8.17～图 8.19 所示。



图 8.17 不良螺钉



图 8.18 不良螺纹

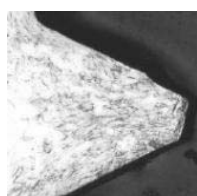


图 8.19 正常螺纹



8.6.11 螺钉生锈现象

如图 8.20 所示,该现象主要指螺钉表面腐蚀,镀层消耗完后,便腐蚀到底材;如镀锌螺钉在户外使用时,与板材在沿海腐蚀环境下,容易发生阳极反应,加速表面锌层腐蚀消耗。建议采用达克罗工艺的螺钉。

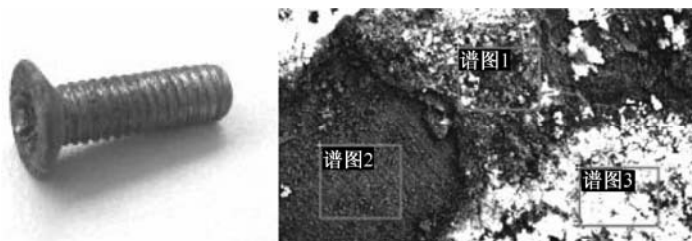


图 8.20 不良螺钉(右图为生锈区域对比)

表 8.5 给出了生锈区域成分分析对比,谱图 1 和谱图 3 以锌(Zn)含量为主,未被腐蚀,谱图 2 以铁(Fe)为主,被腐蚀。

表 8.5 螺钉生锈区域成分分析

谱 图	O	Al	Si	Mn	Fe	Zn	总的
谱图 1	28.64	0.30	/	/	30.24	40.82	100.00
谱图 2	13.26	/	0.50	1.36	83.93	0.95	100.00
谱图 3	31.08	/	0.42	/	8.67	59.84	100.00

8.6.12 漏打螺钉问题

如图 8.21 所示,对打螺钉数量统计不够,单工位一次安装几十颗螺钉,容易出现漏打问题;使用计数器,对安装螺钉的数量设定计数,安装完数量后,有声音提示,证明数量正确,避免漏打螺钉问题出现。



图 8.21 螺钉漏打,计数器应用

8.6.13 电批扭矩不稳定问题

电批磨损等原因,造成电批异常,需要维修,更换零件等;通过每次对电批扭矩的校验和记录,跟踪扭矩的变化,利用 3σ 对电批性能进行管控记录,避免不良电批在生产线上使用时造成产品不良,如图 8.22 所示。



图 8.22 电批扭矩控制

8.6.14 批头滑出损坏产品表面

批头与螺钉开槽配合不紧密，批头选择不匹配或磨损严重、螺钉开槽不到位等，造成批头与螺钉的力矩方向不水平，如果批头受方向力矩朝上，则会把电批向外顶出，造成滑出，损坏产品表面。

8.6.15 螺钉拧不紧问题：安装不到位

扭矩不够（调整扭矩大小），方向不垂直（调整方向，垂直安装平面），下压力不够（保持适当下压力，抵消螺纹中方向摩擦力，确保安装后的自锁力），组合螺钉的累积公差使螺钉孔不对齐（按交叉先后次序安装螺钉，如有必要采用先预紧再锁紧的方法）。

8.6.16 漏气、缝隙或接触不良、螺钉安装不到位

对于气密、密封或高等级紧密要求的安装，出现漏气、缝隙或接触不良、螺钉安装不到位等问题。

气密和密封装配通常为组合螺钉，需严格安装顺序和先预紧再锁紧的方法；高等级紧密要求，需按照高等级扭矩大小设定，如有组合螺钉，也需注意安装顺序和先预紧再锁紧，避免公差累积影响装配精度。

思考题 8

- (1) 什么是螺装？螺装的作用是什么？
- (2) 请分析螺装的原理。
- (3) 影响螺装的因素有哪些？
- (4) 请分析有源电批和无源电批的特点。
- (5) 请列举不少于三种以上的螺装故障，并分析造成的原因。

第9章 分板工艺技术



本章要点



概述



分板工艺类型及选用根据



分板工艺

9.1 概 述

1. 分板的定义

分板工艺是将完成电子装联后的 PCBA 拼板分离，得到具备功能要求的 PCBA 的过程。

2. 为什么要分板

分板是为了把拼板分离的一种工艺技术。

在 PCB 设计过程中，由于某些 PCB 在设计上的先天缺陷，如结构异型、尺寸太小、布局太密或者单板利用率问题，无法满足现代电子装联机械自动化组装可生产性要求，而必须采取一些措施进行拼板设计。

如图 9.1 所示，列出了 2 种异型 PCB，为了与机箱设计等匹配，一些 PCB 常常设计成异型结构。所谓的异型是相对于矩形来说的，而不是按形状是否规则来划分的。圆形是很规则的，但是却不适合在自动化设备上运输传递。图 9.1 (b) 是典型的 L 型 PCB，为保证传送过程的平稳性，对不规则形状的 PCB 应考虑用拼板的方式将其转换为规则的矩形形状，特别是角部缺口最好要补齐，以免传送过程卡板和误感应。实际上 PCB 传送中，会预留 0.5~1mm 的空间，PCB 传送时，X-Y 方向移动，Z 方向也会移动，有缺口时更容易卡住。

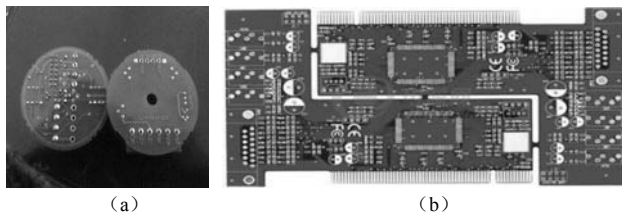


图 9.1 不规则 PCB 及其拼板

第二种需要拼板的原因是 PCB 尺寸太小，超出了设备的加工范围，如图 9.2 所示。例如，DEK 印刷机能处理的最小基板尺寸是 40mm×50mm，如果 PCB 尺寸小于这个尺寸，就无法在这个印刷机上完成焊膏的印刷。

第三种情况是器件布局问题，一些器件布放在板边，从而影响组装过程的传送，如图 9.3 所示，因此必须另外增加拼板边，以满足 PCBA 传送的要求。



图 9.2 尺寸太小的 PCB 拼板

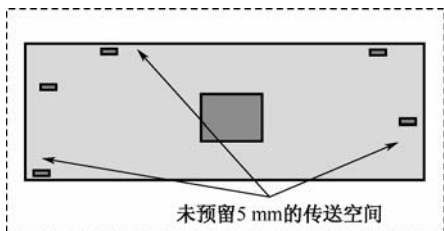


图 9.3 器件布局太靠板边而影响传送



还有一种情况是为了提高板材利用率而考虑的拼板措施。板料大料尺寸规格一般为1219mm×1067mm、1219mm×1016mm、1219mm×914mm等，不同的单元板拼板方式的板材利用率有差异，通常可以通过软件计算，一般利用率在75%以上就可以接受。

由此可见，分板工艺是一种辅助性加工技术，是为了应对异常设计、满足加工要求或降低设计成本而衍生出来的辅助加工工艺。它本身会增加成本，可能会对PCBA带来新的风险，所以除非迫不得已，一般不主张采用。

9.2 分板工艺类型及选用根据

分板方式可分为手工分板、走刀式（V-CUT）和铣刀式分板。应根据产品需求及拼板设计选择合适的分板工艺。鉴于手工分板有可能造成应力敏感元器件的损坏，优选的分板方式参见表9.1。

表 9.1 推荐的分板方式

序号	应 用 场 景			拼板连接方式	分 板 工 艺	元器件布局要求
	板 厚	拼板后尺寸	分离边形状			
1	$x \leq 1.0$	$\leq 300 \times 300$	—	长槽孔+连接桥	铣削分板	参见表 9.2
2	> 1.0	—	直线型	V 形槽	走刀分板	参见表 9.2
3		$\leq 300 \times 300$	非直线型	长槽孔+连接桥	铣削分板	参见表 9.2
4				长槽孔+邮票孔	手工分板	参见表 9.2
5		$> 300 \times 300$	非直线型			

选用分板方式时，必须满足以下元器件布局要求，具体参见表 9.2 和图 9.4。

表 9.2 拼板连接边附近片式电容的最小距离要求

单位：mm

板厚 H	片 容 尺 寸	V 形槽			邮票孔			连接桥
		h_1	h_2	h_3	h_1	h_2	h_3	$h_1/h_2/h_3$
≥ 2.4	>1206	7.5	10.0	1.0	不推荐设计方式			1.0
	0805~1206	3.5	5.0					
	<0805	2.5	4.0					
$1.0\leq H<2.4$	>1206	7.5	10.0		3.5	5.0	2.0	
	0805~1206	3.5	5.0		2.5	4.0	2.0	
	<0805	2.5	4.0					
<1.0	>1206	不推荐设计方式			5	7.5	3.0	
	0805~1206				3.0	4.0	2.0	
	<0805				2.0	3.0	2.0	

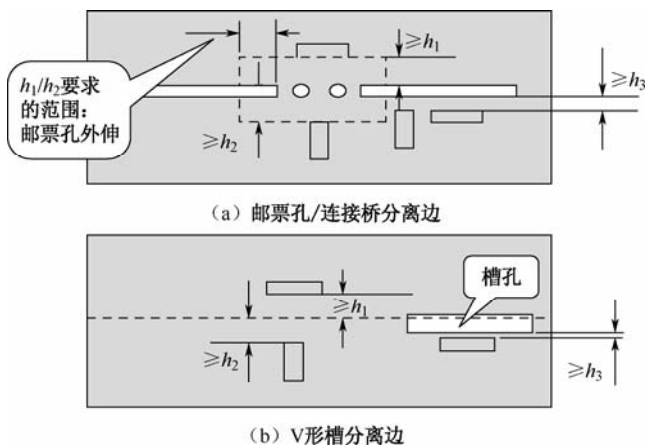


图 9.4 拼板分离边附近片式电容的布局

各种分板方式的应力经验值范围如图 9.5 所示。

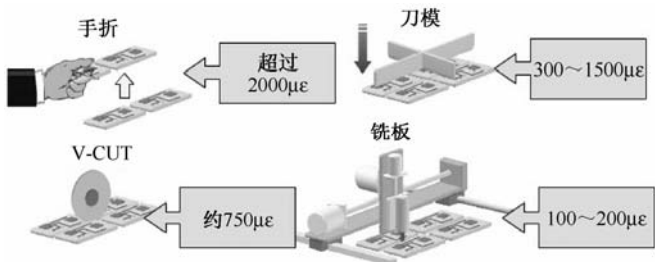


图 9.5 不同分板方式应力经验值

9.3 分板工艺

9.3.1 V-CUT分板

1. V-CUT 分板原理

以上、下刀产生的压力，令 PCB 的 V-CUT 槽受压后出现裂纹，如图 9.3 所示。当板与刀之间发生相对运动，上、下刀在 V 槽产生的撕开力 (Shear Force) 把板分开。注意：不是以刀锋口将板切开。

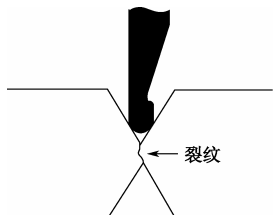


图 9.6 V-CUT 分板原理

2. V-CUT 应用原则

V-CUT 分板工艺适合于板厚 1.0~2.4mm、分离边为直线、设计有 V 形槽的 PCB。对厚度 < 1.0mm 的 PCB，不推荐采用 V-CUT 分板方式，仅允许用于半电镀孔引出端的模块电路拼板。



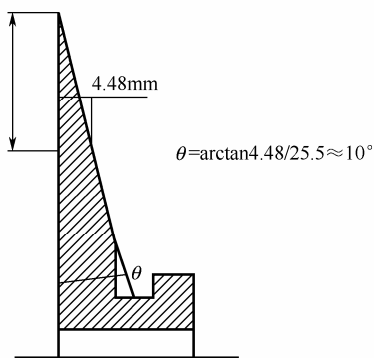
3. V-CUT 工艺要求

应用 V-CUT 分板工艺必须满足刀片结构、刀片垂直偏差、V 形槽设计、器件布局和拼板长度的要求。

1) 刀片结构

V-CUT 分板机圆刀片结构应符合如图 9.7 所示, 两面夹角约为 10° ; 刀尖部分并非锋利的锐角, 当红圈内部分磨损完后, 刀片无法产生足够的压力, 刀片即报废, 无法通过研磨重新使用。

分板圆刀片规格:



刀尖部分放大图:

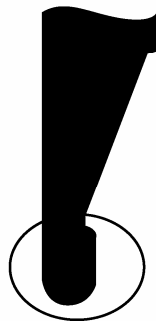


图 9.7 V-CUT 刀片结构

2) 刀片垂直偏差

如图 9.8 所示, 上、下刀片刀刃在垂直方向应在一条直线上重合, 使用校正器测得垂直偏差应 $\leq \pm 0.1\text{mm}$ 。如图 9.9 所示, 偏差测试点为上、下刀片边缘 2mm 内, 测试方法参见 MEASTRO 4M 使用说明书。

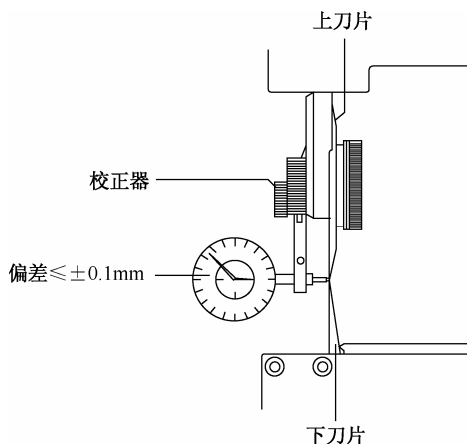


图 9.8 上、下刀片垂直偏差

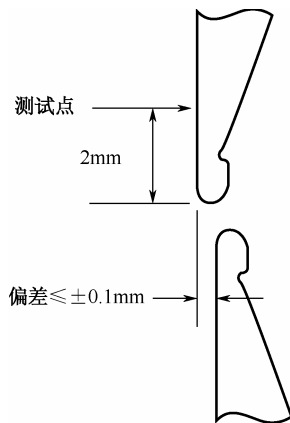


图 9.9 偏差测试点

3) V 形槽 (简称 V 槽) 设计

V 槽形状与尺寸参见表 9.3 和图 9.10, V 槽上下两侧切口的错位 S 应小于 0.13mm 。如果 V 槽宽度小于刀片宽度, 则不能进行分板。

表 9.3 V 形槽尺寸要求

板厚 L (mm)	残余厚度 X (mm)	V 槽开口角度 θ ($^\circ$)	备 注
1.0/1.2	0.45 ± 0.1	30 ± 5	不推荐, 除非对 PCB 的翘曲度与装配应力无要求
1.5/1.6	0.5 ± 0.1	30 ± 5	
2.0/2.4	0.6 ± 0.1	30 ± 5	

4) 器件布局

(1) V 形槽两边元器件的高度限制: 距离 V 形槽 5mm 范围内, 器件高度 $<27\text{mm}$; 距离 V 形槽 $5\sim 20\text{mm}$ 范围内, 器件高度 $<35\text{mm}$, 如图 9.11 所示。

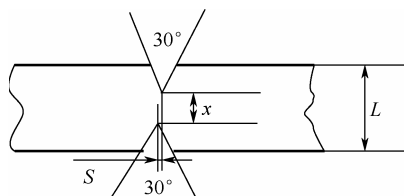


图 9.10 V 槽尺寸要求

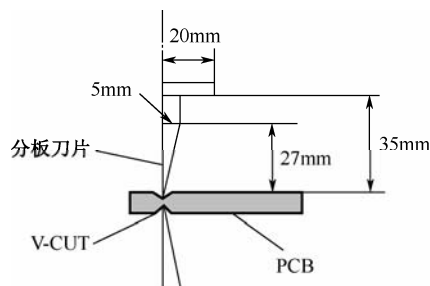


图 9.11 器件高度要求

(2) 晶振距离 V-CUT 槽 $\geq 10\text{mm}$, BGA 距离 V-CUT 槽 $> 5\text{mm}$ 。

(3) 拼板连接边附近片式电容的最小距离符合表 9.2 要求。

5) 拼板长度

拼板长度 \leq 设备可分板长度。常用 CAB-MAESTRO 4M 机型最大分板长度为 400mm 。

4. 工艺流程

如图 9.12 所示, V-CUT 分板工艺流程可以分为 3 个主要部分, 分别为放板、切割、取板。

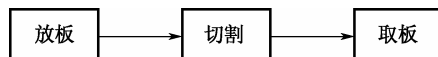


图 9.12 V-CUT 分板工艺流程

(1) 放板: 将单板 V 槽平稳放置在下刀片上并保持。要求单板与刀片垂直, V 槽与刀片刃口重合, 放板位置在加工范围内。

(2) 切割: 启动走刀机构沿 V 槽将单板与拼板和/或工艺边分离。切割过程要确保单板水平, 不抖动不偏移。

(3) 取板: 将已完成切割的单板从工装取出, 同时检查切割效果。



5. 工艺参数

1) 刀片间隙

间隙值是非常重要的一项参数,间隙越小对单板挤压力越大。上、下刀片间隙应略小于V槽的剩余厚度。由于材料不同,撕开力不同,因此该间隙应以实际的板进行实际测试,每次增加的深度为剩余厚度的1/10进行操作调校。初始调试值可参见表9.4。

表 9.4 MEASTRO 4M 分板机刀片间隙

单板厚度 (mm)	V-CUT 槽的厚度 (mm)	刀片间隙 (mm)
1.0~1.6	0.4	0.02
2.0	0.5	0.02~0.03
2.4~2.5	0.53	0.05~0.1
3	0.67	0.1~0.15
注释: ① 以上是 FR-4 板材的 PCB 数据; ② 板厚偏差±10%; ③ 刀片间隙不能大于单板 V 槽厚度。		

MAESTRO 4M 刀片间隙调整装置如图 9.13 所示,可以 1/10 mm 的间隔调整。间隙调整后,应执行几次切割测试以确定是否可正常裁切 PCB,如无法正常切割,则需要慢慢缩减上下刀片的间隙,此调整可帮助降低切割力道,这对于 PCB 上靠近 V 槽的精密组件非常重要。



图 9.13 MEASTRO 4M 分板机上下刀片间隙调整

为防止分板过程中间隙发生变化,每次分板前要确认间隙是否和设备标注的一致,在分板过程中,QC 应抽查间隙是否符合工艺要求,如发现间隙变化应立即停止分板,更换间隙正确的设备继续生产。

2) 切刀行程

切刀行程指切刀工作起始点(切入点)和终止点(切出点)之间的距离,切刀行程应≥拼板长度;MAESTRO 4M 提供 100/200/300/400mm 共 4 种固定行程,最大分板长度为 400mm。

3) 走刀速度

走刀速度是指切刀在分板过程的移动速度,根据实际需要选择,板上的 V 形槽深的就选择快挡,反之选择慢挡。MAESTRO 4M 分板速度分 300/500 mm/s 两挡。

4) 放置角度

如图 9.14 所示, 放置角度为待切割单板与切刀之间的夹角。由于分板过程中 PCB 由上、下刀片两点支撑, 因此, 在分板过程中须保证 PCB 面与刀面垂直, 保证放置角度在 $90^{\circ} \pm 2^{\circ}$ 范围内。当无法确定手持加工是否满足要求又没有足够资源验证时, 建议制作工装以保证 PCB 被正确放置。

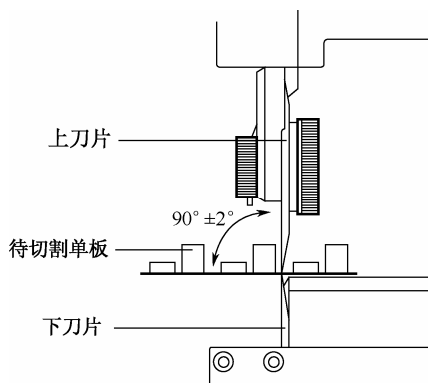


图 9.14 单板放置角度

6. 故障模式及成因

V-CUT 主要失效模式有：切偏，毛刺、不切断、分层以及元器件损坏。

1) 切偏

切偏是指分板偏离预定的位置，如图 9.15 所示，给出了切偏的示例。

切偏原因包括：

- (1) 操作员因用力不均匀、坐姿不当使所持 PCB 非水平状态，板面与刀片不垂直，导致刀片偏离 V 槽。
- (2) 刀片安装不当，上、下刀片垂直偏差 $> \pm 0.1\text{mm}$ ，导致刀片偏离 V 槽造成切偏。
- (3) 上、下刀片间隙大于 PCB V 槽剩余厚度，PCB 在刀片间左右晃动，导致刀刃偏离 V 槽造成切偏。
- (4) 来料不良，V 槽深度不够，导致刀片跳出 V 槽造成切偏。

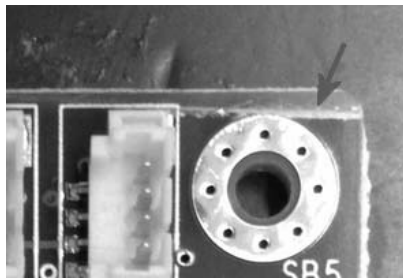


图 9.15 切偏



2) 毛刺、未切断、分层

如图 9.16 和图 9.17 所示，分别给出了分层和毛边的示例。

造成上述问题的原因：

- (1) 上、下刀片间隙大于 PCB V 槽剩余厚度。
- (2) 刀片磨损，不能形成足够的撕裂力。
- (3) 来料不良，PCB 上、下 V 槽切口错位 $>0.13\text{ mm}$ 。

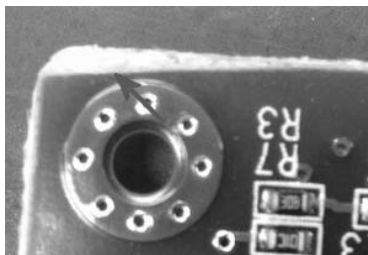


图 9.16 分层

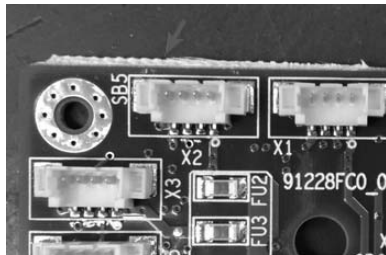


图 9.17 毛边

3) 元器件损坏

分板对元器件造成损伤，如图 9.18 所示。

造成元器件损坏的原因：

- (1) 设计有误，不符合器件布局要求，器件过于靠近或覆盖 V 槽。
- (2) 工序安排不当，将可能覆盖 V 槽的安装工序排在分板前面。
- (3) 因碰撞、操作不当等原因导致插件倾斜而超出 V 槽。

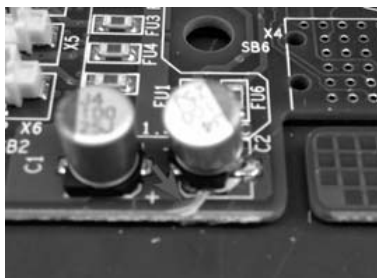


图 9.18 元器件损坏

7. 操作流程

1) 使用前准备工作

每次使用 4M 分板机分板前，先要对分板机进行检查，确认设备正常可用。检查的项目如下：

- (1) 上、下刀片是否有磨损、缺口，如图 9.19 所示。例如，刀片有表 9.5 情况则应更换刀片，以免将 PCB 切坏。

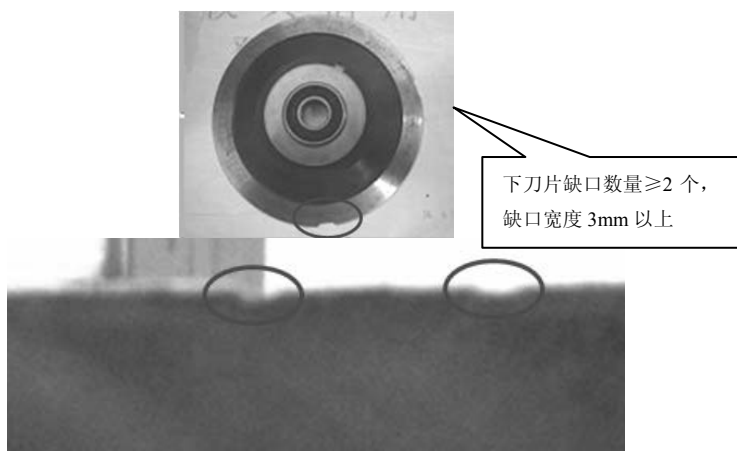


图 9.19 上、下刀片缺口

表 9.5 MAESTRO 分板机刀片更换标准

分板机类型	刀片类型	更换标准
4M 分板机	上刀片	(1) 有缺口; (2) 刃口边缘磨损不再具有撕裂力; (3) 使用超过 100km (具备计数功能的机型)
	下刀片	(1) 分板机刀片在 100~400 之间缺口数量≥2; (2) 最大缺口宽度≥3mm

(2) 刀片有无扭曲、变形。

(3) 刀片间隙是否符合要求 (使用塞尺检查切入点、切割段、切出点), 如图 9.20 和图 9.21 所示。

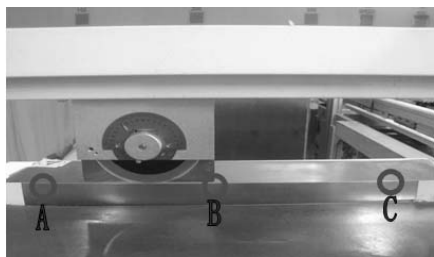


图 9.20 间隙检查点

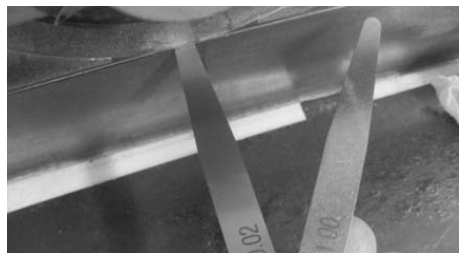


图 9.21 间隙检查用塞尺

2) 打开电源, 调整刀片与钢片的间隙和切刀的行程

如图 9.22 所示, 以 4M 分板机为例, 每次分板前, 需要设置切刀的起始点和终止点, 以确定切刀的行程的长短。

(1) 打开电源后, “0” 处的灯闪烁, 此时设置切刀的起始点和终止点。

(2) 按顺序点击 “0”、“200”、“300”、“400” 按钮, 先确定起始点、再确定结束点。

如设置 0~400 的切刀行程, 打开电源后, 0 灯闪烁, 直接点击 “400” 按钮, 400 灯与 0 灯同时长亮, 即完成 0~400 的行程设置。



如设置 200~300 的切刀行程，打开电源后，0 灯闪烁，点击“0”按钮，关闭 0 灯，再点击“200”按钮，200 灯闪烁，再点击“300”按钮，最后 200 灯和 300 灯同时长亮，即完成 200~300 的行程设置。

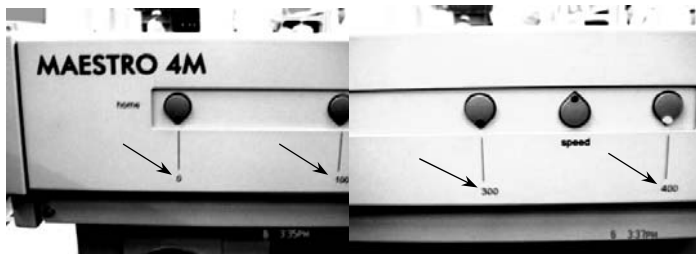


图 9.22 4M 分板机行程设置面板

3) 放板

如图 9.23 所示，将 PCB 的 V 槽放入下刀片上，放上去后可以左右轻微移动一下，检查位置是否正确，以确保下刀片陷入 V 槽中，要求端平放稳。放板时应注意：

(1) 如果 V 槽宽度小于刀片宽度，则不能用 4M 分板机分板。

(2) 如果单板无法放平，则需要工装辅助定位，保证分板时单板在水平状态，分板过程中不能倾斜单板。



图 9.23 V-CUT 放板方式

4) 切割

固定 PCB 单板后，用脚踩踏板，待切刀到终止点后松开踏板，完成分板。分板时需要注意：

(1) 分板时，手部需要用力，保持 PCB 水平平稳状态。

(2) 切刀完成行程后才能松开踏板。否则，机器会要求重新确定起始点和终止点。

(3) 做好防静电的措施，佩戴手套，及时清除碎屑（碎屑不能影响刀片行程和单板放置），如图 9.24 所示。



图 9.24 分板时脚踩踏板，并戴防静电手套操作

(4) 放板时确保双手持板、坐姿端正、双脚自然放置，不要倚靠椅背，严禁翘脚作业或将脚搁、跷在桌椅上，不能坐在凳子上摇晃，如图 9.25 所示。

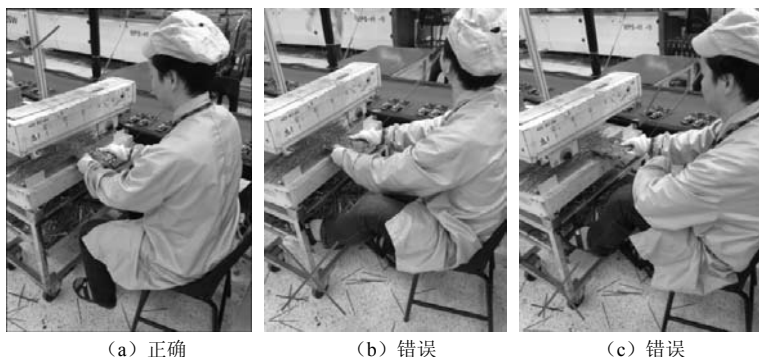


图 9.25 正确的坐姿

5) 取板

分板完成后，检查分板边缘是否平齐，如有碎边，用剪钳修整；摆放单板时注意轻拿轻放，防止损伤器件。清除工艺边等碎屑，放入如图 9.26 所示的碎屑收集箱或集中摆放，不可随意丢弃。



图 9.26 分板碎屑收集箱

6) 首件确认

分板时要做首件，首件检查没有问题后才可批量分板。

8. 注意事项

(1) 分板时禁止野蛮操作，遇到工艺边无法切断时需停机检查刀片、设备有无异常。异常排除后才可继续分板，禁止靠蛮力将板掰开、撕开等动作。

(2) 操作员应注意安全，严禁违规操作。

(3) 拿板、取板时应轻拿轻放，防止单板被外力损伤。

(4) 使用 4M 分板机时，为减少下刀片的磨损，不要在同一个位置分板；避免因刀片中间比两边磨损严重，分板时对 PCB 产生损伤。

(5) 分板时保证单板位置正确，V 槽与刀片配合良好，单板固定水平平稳，刀片间隙符合要求，才能保证分板质量和分板时应力满足要求。

(6) 不要划伤金手指，分板后注意检查板边不能留有毛刺。



(7) 检查板边有无切偏、露铜、分层等不良。

(8) 移动机器时, 必须先把刀片提升, 使上、下刀片之间有一定距离, 以保障刀片安全。

9.3.2 铣刀式分板

1. 铣刀式分板原理

铣刀式分板简称铣板, 又称 Routing (自由轨迹切割) 分板, 通常是 PCB 保持固定不动, 由计算机根据预编程序控制铣刀头做上下或水平移动进刀, 利用主轴高速旋转形成的铣削力去除拼板连接材料的一种分板方法。由上向下观察, 主轴是顺时针旋转动作, 除在 PCB 侧面产生切削的作用外, 还出现将 PCB 向下压迫的力量。向下集尘式的铣板设备, 需搭配左旋(下切)式刀刃铣刀, 以实现切割时将粉尘向下推。如图 9.27 所示为铣刀切割面示意图, 如图 9.28 所示为左旋铣刀。

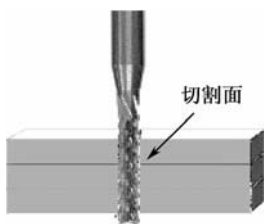


图 9.27 铣刀切割面

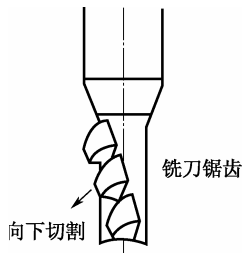


图 9.28 左旋铣刀

铣板克服了以往走刀式只能直线分板的局限性, 分板应力小、优良率高, 是目前较为理想的分板方式。

目前铣板设备Y-S168SA 加工精度为 $\pm 0.15\text{mm}$ 。

2. 铣板应用原则

铣板工艺主要用于 3.2mm 厚度以下硬性 PCB 的分割, 适用于对板边要求整齐或布局有应力敏感元器件的各种厚度 PCB。通常 PCB 会采用长槽孔加连接桥的拼板设计方式, 如图 9.29 所示。

3. 铣板工艺要求

应用铣板工艺必须满足拼板尺寸、槽宽、连接桥宽、器件布局、工装定位精度的要求。

1) 拼板尺寸

取决于设备主轴活动范围及工作台尺寸, 特宽型分板机最大加工尺寸为 430 mm×520 mm, 普通分板机最大尺寸为 300 mm×300 mm。

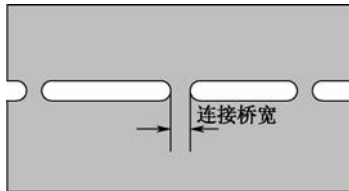


图 9.29 “长槽孔+连接桥”分离边

2) 槽宽

为避免铣刀直径过小发生断刀, 要求长槽宽在 1.6~3.0 mm 之间。

3) 连接桥宽

为提高加工效率、减少刀具磨损及产生过多粉尘, 切割长度越短越好。槽与槽之间的连接桥根据板厚确定, 当厚度 ≤ 1.0 mm 时, 要求连接宽度为 5~7 mm; 当厚度 > 1.0 mm 时, 要求宽度为 3~5 mm。

4) 器件布局

槽孔附近元器件布局, 除片式电容应满足表 9.2 要求外, 器件需避免与铣刀主轴干涉, 应满足如图 9.30 所示尺寸要求。

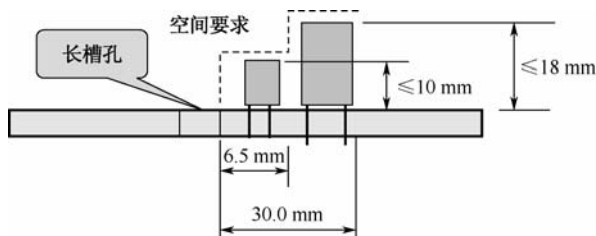


图 9.30 长槽孔周围元器件布局要求

5) 工装定位

铣板过程中, PCBA 在主轴侧向作用力下会发生轻微的移位, 设计工装时应有合适的措施保证铣板过程中 PCBA 的移位在接受范围内。切口所在板边无装配要求的, 移位 $\leq \pm 0.1$ mm; 切口所在板边有装配要求的, 移位 $\leq \pm 0.05$ mm。通常沉降式定位工装(仿形工装)定准精度优于定位柱式, 必要时应考虑使用压板保证 PCBA 不会发生松动。

4. 工艺流程

铣板工艺流程如图 9.31 所示, 具体可以分为 4 个主要部分, 分别为装板、切割、取板、除尘。

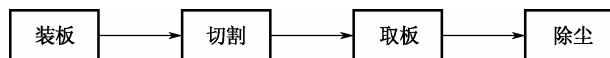


图 9.31 铣板工艺流程

(1) 装板: 将单板平整放置在工装内。要求工装安装平稳、方向正确, 高度在铣刀加工范围内, 确保单板定位可靠, 没有晃动、翘起等。

(2) 切割: 铣板的主要工艺过程, 计算机运行经过确认的程序, 驱动刀具主轴按照预设模式及路径切除 PCBA 连接桥材料, 将单板与拼板和/或工艺边分离。

(3) 取板: 将已完成切割的单板从工装取出, 同时检查切割效果。要求双手垂直方向取出, 避免用力不均造成工装卡板造成损坏。

(4) 除尘: 清理分板过程中残留在单板上的粉尘。对于普通单板, 使用目视检查无粉尘;



针对客户有特殊要求的单板，使用 10 倍放大镜进行检查；确认无灰尘后才可转下道工序。

5. 工艺参数

如图 9.32 所示，铣板工艺主要过程为切割加工，显示出一个典型的 PCB 切割过程。首先铣刀在待机位置等待加工启动指令，当接收到加工启动指令后，铣刀迅速移动到第一段的切割起始点，此时 Z 轴（刀具主轴）的高度为退刀位置的高度，接着 Z 轴下降到进刀位置开始切割，直到第一段的切割结束点为止，然后 Z 轴上升至退刀位置的高度并移动到下一段切割处的切割起始点，如此直到最后一段切割完成，之后 Z 轴再上升到等待位置的高度，然后移回等待位置处。

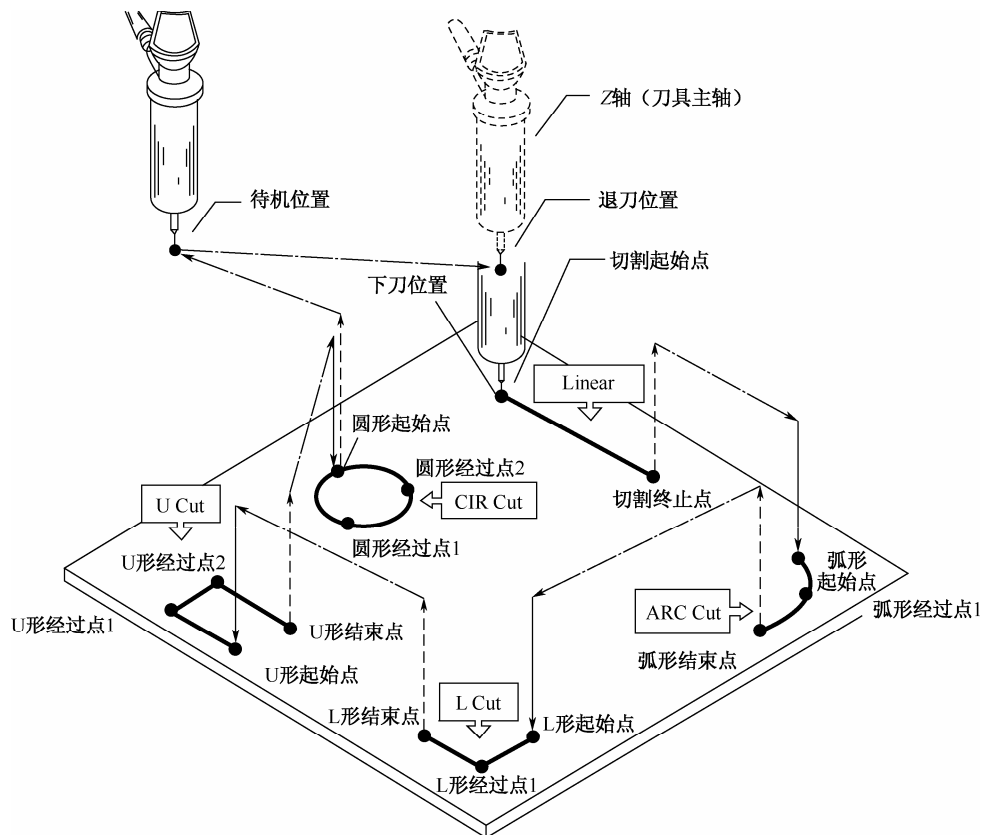


图 9.32 铣板工艺过程示意图

切割的参数主要包括待机位置、退刀位置、下刀位置、切割模式、切割起始点、切割终止点、刀具直径、切割速度、铣刀寿命等。

1) 待机位置

加工启动前或加工完成后，而下一个加工未开始之前铣刀的等待位置。合理选择待机位置可减少铣刀的移动时间提高生产效率。



2) 退刀位置

设定 Z 轴（刀具主轴）的上升高度，此高度应高于 PCBA 加工面最高器件的高度。

3) 下刀位置

设定 Z 轴（刀具主轴）切割高度。

4) 切割模式

切割模式通常包括直线切割、弧形切割、L 形切割、U 形切割及圆形切割，根据连接桥的形状及实际情况选择相应的切割模式。

5) 切割起始点

开始切割的位置点如图 9.33 所示，在圆形切割时，起始点也是终止点。选择起始点位置时，铣刀切割范围的边与欲切割的点切齐。在连接桥的前方预留一些前置量，可使切割边缘更加平顺。

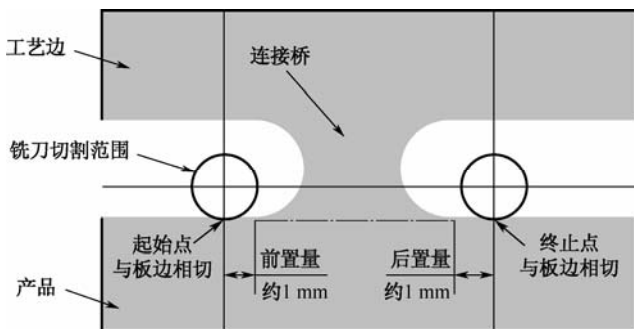


图 9.33 切割起始点与终止点示意图

6) 切割终止点

切割的结束点，选择终止点位置时，铣刀切割范围的边与欲切割的点切齐。在连接桥的后方预留一些后置量，可使切割边缘更加平顺。

7) 刀具直径

所选用铣刀的直径。直径的大小与设备的补偿值、走刀速度、主轴转速有关，通常设备会根据直径自动计算并设定补偿值和主轴转速。刀具直径增加，刚性提高，走刀速度相应增加，可改善切口平整度；同时切削力增加，主轴最高转速有所下降。铣刀直径大小的选择，须研究清楚尺寸图的规格，包括槽宽、圆弧直径的要求（尤其在转角），另外须考虑板厚。常用铣刀直径范围为 1.6~2.0mm。根据产品实际情况，满足上述要求后优先考虑直径较大的刀具。

8) 切割速度

切割 PCB 时刀具的移动速度。切割速度的选择主要取决于被加工工件的材质及铣刀的



直径。国外一些厂家提供的刀具样本附有刀具切削参数选用表 9.6 可供参考。但切削参数的选用同时又受机床、刀具系统、被加工工件形状以及装夹方式等多方面因素的影响,应根据实际情况适当调整。目前所用 γ -S168SA 铣板机切割速度与刀具直径及主轴转速之间的关系如表 9.6 所示。

表 9.6 切割速度与刀具直径及主轴转速关系示例

主轴转速 (r/m)	45000		40200										
铣刀直径 (mm)	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
切割速度 (mm/s)	6.7	10	13	15	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	20	20	20	20
主轴转速 (r/m)	40000												
铣刀直径 (mm)	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3			
切割速度 (mm/s)	20	20	20.8	20.8	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7			

※数据是在 FR4 板材、无切割铜箔条件下测得的。

9) 铣刀寿命

铣刀寿命是指铣刀可允许的切割距离。为避免刀具磨损带来的加工误差,当累积切割距离达到铣刀寿命后应更换铣刀。铣刀寿命与刀具本身特性及加工材质有关,通常由设备工程师根据实际验证后给出。

6. 工艺调制

在调制新产品的铣板工艺时,需要按照如图 9.24 所示的建议流程。

7. 故障模式、成因及解决方法

表 9.7 列出了铣板常见故障模式及定义。

表 9.7 故障模式及定义

序 号	故 障 模 式	定 义
1	漏切	部分连接材料没有被去除,导致工艺边等拼接材料仍与产品相连
2	露铜	又称过切,材料去除过多,导致 PCB 内部走线外露
3	切坏	又称跳刀,主轴在不正确的位置下刀或退刀,将 PCB 或器件损坏
4	凸台	材料去除量不足,导致部分连接桥残留
5	毛刺	加工过程未切割平整而残留在切口的材料,呈细齿或毛边状附着在板边
6	撞件	PCBA 的器件受主轴或工装撞击导致脱落或失效
7	分层	PCB 内基材的层间、基材与导电箔间或任何其他表面与内部剥离

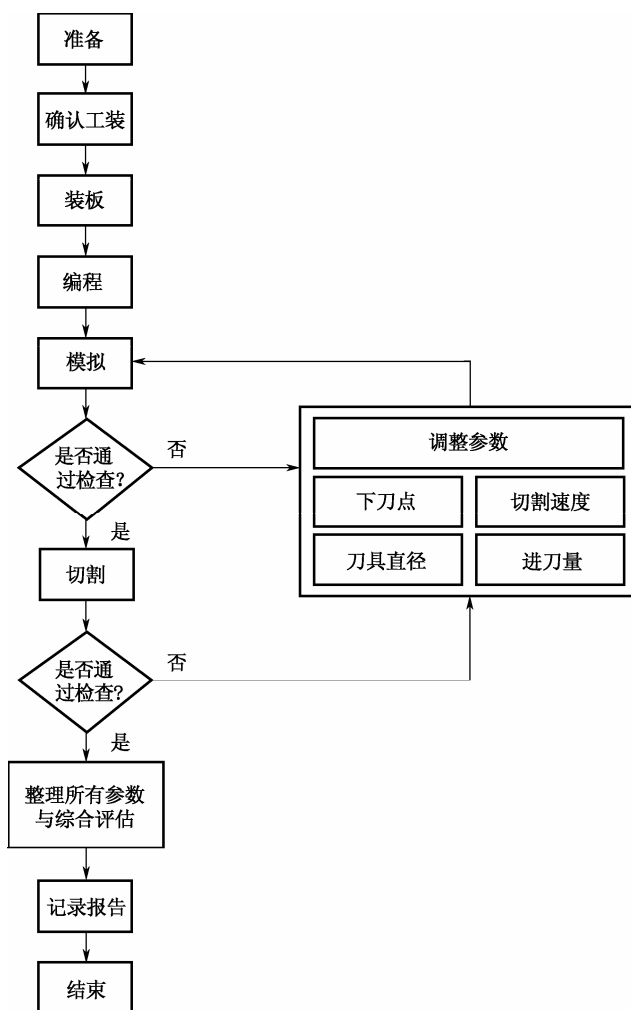


图 9.34 调制新产品的铣板工艺流程

各种故障的成因及改善方式介绍如下。

1) 漏切

(1) 原因:

操作员未识别需要去除的工艺拼边、切割程序不完整、加工过程中断刀但未发现。

(2) 改善:

- ① 作业指导书应明确需要除去的工艺边。
- ② 重新设计程序，每次开机前模拟加工并且执行首检。
- ③ 更换新刀具，检查工艺参数。

2) 露铜

(1) 原因:

刀具直径参数不正确；偏移参数设置不当；切割起始/终止点选择不正确；设备 CCD 偏



移超差；工装固定不当，发生移位；工装损坏，定位精度不足。

(2) 改善：

- ① 保证根据铣刀实际尺寸设置刀具直径。
- ② 重新编写加工程序，调试时以微调方式（0.01mm 级别）减少刀具向产品方向的进刀量。
- ③ 定期校检 CCD 偏移量，保证屏幕光标与铣刀实际大小、位置一致。
- ④ 检查工装固定螺丝及工作台固定孔，确保固定螺丝长度足够，固定孔无滑牙，工装稳定可靠。
- ⑤ 工装存放过程不可撞击，定期更换磨损的定位销。
- ⑥ 提高工装定位精度。

3) 切坏

(1) 原因：

工装位置发生改变；加工程序编写错误，偏移量设置不当；计算机不稳定导致的设备故障。

(2) 改善：

- ① 重新设计程序，每次开机前模拟加工并且执行首检。
- ② 工装位置变化后应重新编程确认下刀位置。
- ③ 申报设备工程师处理。

4) 凸台

(1) 原因：

刀具直径参数不正确；偏移参数设置不当；切割起始/终止点选择不正确；工装定位精度不足，单板有晃动；铣刀直径过小刚度不足；屏幕光标与铣刀实际大小、位置不符。

(2) 改善：

- ① 保证根据铣刀实际尺寸设置刀具直径。
- ② 重新编写加工程序，调试时以微调方式（0.01mm 级别）增加刀具向产品方向的进刀量。
- ③ 检查工装固定螺丝及工作台固定孔，确保固定螺丝长度足够，固定孔无滑牙，工装稳定可靠。
- ④ 工装存放过程不可撞击，定期更换磨损的定位销。
- ⑤ 提高工装定位精度。
- ⑥ 定期校检 CCD 偏移量，保证屏幕光标与铣刀实际大小、位置一致。
- ⑦ 更换直径大一级的铣刀调试。

5) 毛刺

(1) 原因：

刀具变钝；工装定位精度不足，单板有晃动；切割速度过快。

(2) 改善：

- ① 更换新刀具。
- ② 根据实际情况设置刀具寿命参数。



- ③ 提高工装定位精度。
- ④ 参考厂家推荐的切割速度，降低一个级别调试。

6) 撞件

(1) 原因:

未按设计规范布局，器件过高、过于靠近或覆盖板边；退刀高度不足；走刀路径不当。

(2) 改善:

- ① 尝试从 PCB 另一面加工。
- ② 尝试重排工序。
- ③ 增加退刀高度。
- ④ 重新设置路径，分段编程，避让器件。

7) 分层

(1) 原因:

铣刀磨损严重、刀具选用不当、PCB 材来料不良或材料特殊、切割速度过快。

(2) 改善:

- ① 更换锐利的铣刀。
- ② 更换铣刀种类，咨询铣刀供应商。
- ③ 优化切割速度。
- ④ 咨询板厂成型参数。

8. 单板导入铣板工艺质量要求

单板导入铣板工艺质量要求主要根据铣板特点制定，其他未涉及部分按 IPC-A-610E、IPC-A-600H 执行。

1) 板边切口

要求边缘平滑无毛刺、缺口或分层，如图 9.35 所示。

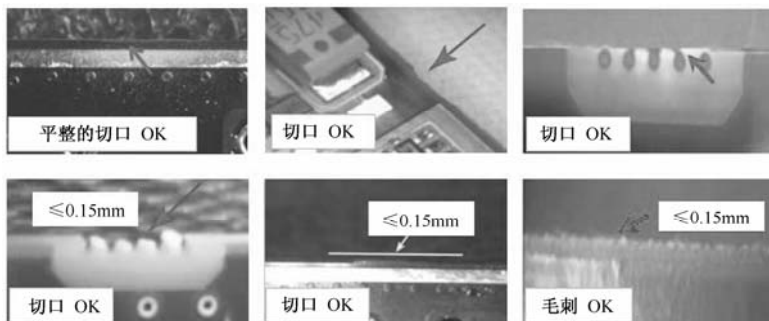


图 9.35 合格切口图例

可接受:

- (1) 边缘粗糙但未磨损。



(2) 缺口或铣切边未超过从板边与最近导体之间距离的 50%或 2.5mm, 取两者中的较小者。

(3) 分层的穿透范围未使由图纸注释或相关文件所规定的边距, 减少量超过 50%。

(4) 若无规定, 边缘分层与导体的距离要 $>0.127\text{mm}$, 分层的最大范围不超过 2.5mm。

(5) 以板边为基准, 毛刺、凸台高度 $\leq 0.15\text{mm}$, 未影响装配、外形或功能。

(6) 同时存在凸台与毛刺时, 则总高度 $\leq 0.15\text{mm}$, 未影响装配、外形或功能。

2) 板面外观

板面外观不允许出现: 漏切、露铜、目视可见切伤/划痕、器件切坏受损、器件脱落等。

3) 残留粉尘和碎屑

(1) 板面、焊点、连接器、金属触点、金手指、器件内部等位置不可观察到粉尘和碎屑残留, 如图 9.36 所示。

(2) 对于普通单板, 使用目视检测, 距离板面 20~30 cm。

(3) 针对客户有特殊要求的单板, 使用如图 9.37 所示 10 倍放大镜进行检查。



图 9.36 粉尘验收标准对比



图 9.37 台式 10 倍放大镜

(4) 铣板后不可影响产品后续装配, 凸台、毛刺高度超出板边 0.15 mm 时必须清理, 必要时应申购检查工装及加强抽检频率及样本量。

(5) 当产品有特殊需求时, 例如切口所在位置需要进行精密配合, 应在产品系统设计或结构开发阶段明确质量要求, 以产品专用质量要求为准。

关于不合格切口的示例如图 9.38 所示。

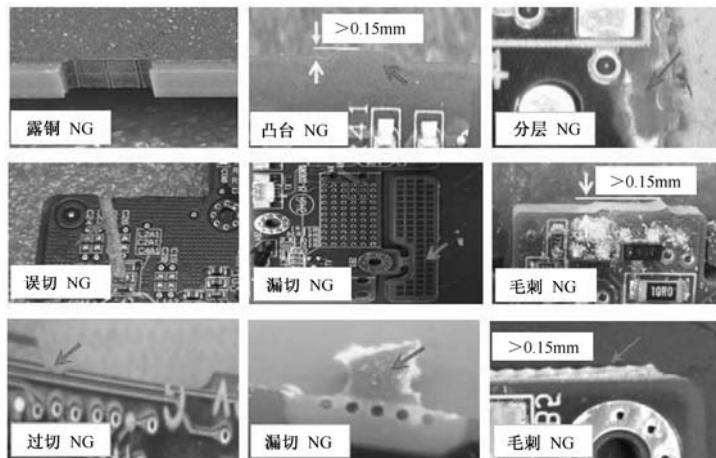


图 9.38 不合格切口图例



9. 操作流程

在应用铣板工艺时，建议按照以下的流程。

- (1) 铣板前正确佩戴静电手环。
- (2) 确认铣板工装编号正确，方向安装正确，确保安装平稳、高度在铣刀加工范围内。
- (3) 将单板平整放置在工装内，确保定位可靠，没有晃动、翘起等。
- (4) 编程时，先铣加工精度要求较高侧的连接桥。
- (5) 初次调机时，设置铣刀与板边相切，模拟通过后试铣一块。
- (6) 根据铣板结果进行调整进刀量。
- (7) 分板完成后，检查切口位置板边是否齐整、到位。
- (8) 双手垂直取板并放置在物料盘内。
- (9) 清理粉尘。

10. 注意事项

1) 准备工作

- (1) 操作员注意安全：需要戴好防静电手环和口罩；
- (2) 生产前一定要核对：夹具、程序、单板型号是否正确。

2) 定位工装

- (1) 安装定位工装时，应保证直线切割方向与设备 X 、 Y 轴方向平行。
- (2) 工装安装方向如图 9.39 所示。
- (3) 确认工装编号正确，确保工装安装平稳、无晃动、高度在铣刀加工范围内。
- (4) 工作台固定孔出现滑牙无法固定时，应及时报修。

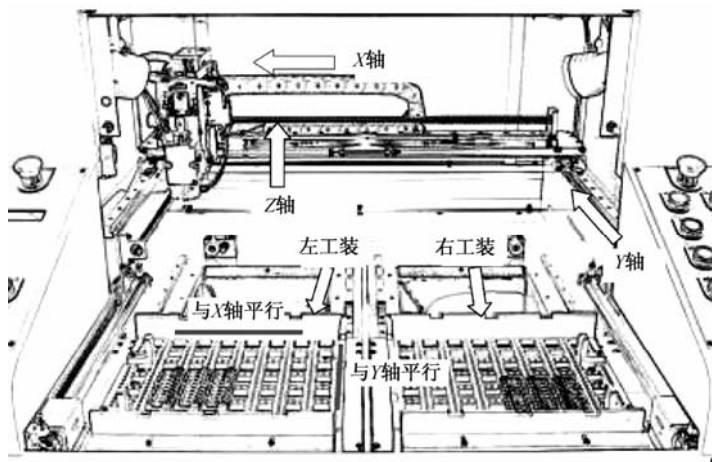


图 9.39 工装安装方向

3) 放置单板

- (1) 如图 9.40 所示，先确定工装定位结构位置，双手将单板移到工装正上方，再垂直、



平稳放入工装。

- (2) 放板时不能在工装上来回移动找定位销，避免损坏元器件。
- (3) 如果放板困难时，用手压四周的工艺边，用力不能过大，而且注意不要压到元器件。
- (4) 如果定位销变形或配合不良，则更换工装，并将不良工装送修。



图 9.40 单板固定方法

4) 程序调试

- (1) 切割程序由指定授权人员编写，其他人员严禁改动。
- (2) 初次调机时，应使屏幕光标铣刀有效范围与板边相切。
- (3) 调整进刀量时应使用 0.01 mm 级别的微调模式。
- (4) 如图 9.41 所示，选择下刀点/退刀点时设置一定的预置/后置量可使切口更平顺。
- (5) 如果工装发生移动，必须由指定专业人员重新进行程序调整，不可调出程序直接运行。
- (6) 程序编写需要以最短切割行程为原则。
- (7) 加工前必须使用模拟功能检查程序。
- (8) 加工过程每 2 小时应使用模拟走刀检查铣板程序一次以修正定位偏差。

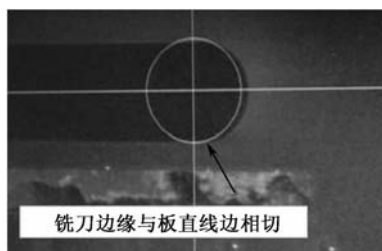


图 9.41 下刀点选择

5) 切割

- (1) 操作者应密切留意加工过程，中途不能离开。
- (2) 如出现紧急情况（如单板翘起、切坏等情况），立即按下急停开关。
- (3) 不可在未停止状态下将手伸入机器。
- (4) 如图 9.42 所示，铣刀切削路径有空洞时，空洞处会凸起，应考虑多次铣削。
- (5) 如图 9.43 所示，铣刀切削路径前方有空区域时，会产生毛刺，应考虑多次铣削。
- (6) 铣刀直径过小，切割过程会出现明显偏折，如图 9.44 所示，影响加工精度。

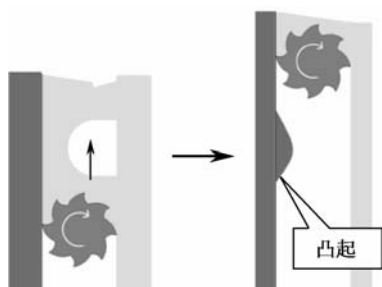


图 9.42 空洞导致凸起

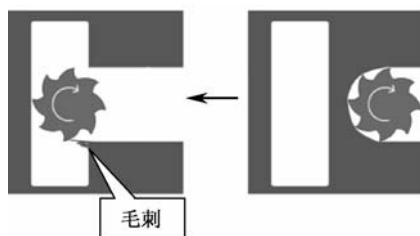


图 9.43 毛刺成因

(7) 一般应尽量采用顺铣法加工，以提高被加工零件表面的光洁度（降低粗糙度），保证尺寸精度，如图 9.45 所示给出了顺铣和逆铣的影响。

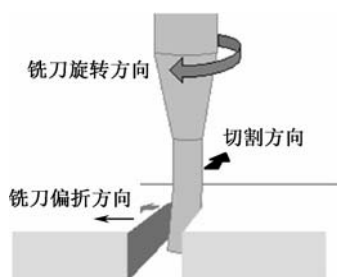


图 9.44 铣刀的偏折

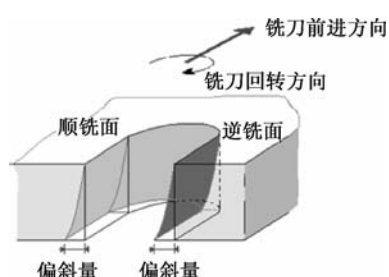


图 9.45 顺铣与逆铣的影响

(8) 必须严格按照设备工程师提供的刀具寿命定期更换铣刀。

(9) 在机器切割同时，将另一侧的单板放置好，交替放板、切割作业，提高铣板效率，具体如图 9.46 所示。

(10) 在分板机出现不明情况时要向相关人员反馈，不能擅自处理。



图 9.46 左右工作台交替作业

6) 取板

(1) 取板时不能叠板，以免元器件撞掉、撞坏。

(2) 分板后产生的毛刺应及时清理（如有特殊要求以该板产品工艺要求为准）。

7) 检查

(1) 将单板从模具中取出后一定要自检。



(2) 注意检查分板是否对 PCB 造成损坏, 元器件有无脱落和断裂, 发现问题立即反馈。

8) 首检确认

(1) 每次铣板或者更换其他单板时, 都需要首检确认, 以确认铣板程序和工装等正确。

(2) 首件分板要确认。

9) 除尘

(1) 如图 9.47 所示, 除尘必须在指定工位进行, 原则上不赞成用离子风机吹单板上的粉尘。

(2) 除尘时注意风枪(如图 9.48 所示)沿着 PCB 边缘吹, 不能直接对着器件或焊点吹, 防止损伤器件。



图 9.47 除尘工位



图 9.48 风枪

(3) 如果连接器内部有粉尘, 可用风枪来回吹 2~3 次。

(4) 粉尘无法吹干净时可用防静电毛刷清理, 如图 9.49 所示。

(5) 粉尘特别多时应检查刀具是否磨损严重而导致此情况出现, 及时更换刀具。

(6) 确认板上无粉尘后才转下道工序。

(7) 应及时使用吸尘器清理夹具和工作台面上的粉尘, 每天至少需清理 4 次。

(8) 特别注意工装的定位销(如图 9.50 所示), 柱、凹槽等容易沾灰尘的结构必须及时清理干净。



图 9.49 防静电毛刷



图 9.50 定位销上的粉尘

10) 清理连接器内粉尘

(1) 如果单板上连接器, 用风枪清理后, 必须再用专用吸尘工具清除连接器内的粉尘, 如图 9.51 所示给出的方法和工具可供参考。

(2) 使用吸尘工具时, 将带防静电毛刷的清理头固定到清洁器上, 启动开关, 来回在连接器上刷, 在刷的过程中灰尘被吸附到工具的储尘盒内。

(3) 每隔一段时间(根据生产数量, 每班或每天)取下储尘盒, 将储尘盒中灰尘清理后



再使用。

(4) 连接器除尘后必须检查, 确认无灰尘后才可转下道工序, 否则重新除尘。

(5) 对于普通单板, 使用目视检测, 距离为 20~30cm; 针对客户有特殊要求的单板, 使用 10 倍放大镜检查。

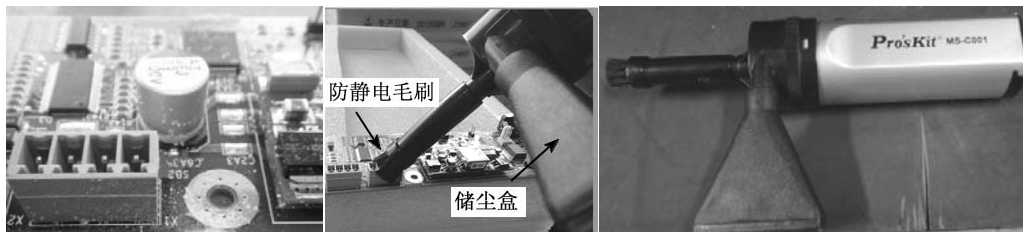


图 9.51 连接器内部粉尘清理方法及工具 Pro'sKit MS-C001

11) 连接器除尘工具电池更换周期

(1) 根据对吸尘工具的电池寿命跟踪统计, 电池正常连续使用时间为 15 天, 当电量不足时, 吸尘工具的吸力会显著降低, 此时需要马上更换新电池。

(2) 为除尘质量, 要求每两周更换一次电池。

12) 连接器除尘工具的使用

(1) 每次使用吸尘工具前, 需要确认是否正常可用。

(2) 如果吸尘效果不满足质量要求, 先检查电池是否达到更换周期。

(3) 如果电池超过使用周期则更换电池重新确认; 如果电池在使用周期内则需要更换新工具。






思考题 9

- (1) 请解释分板的作用。
- (2) 拼板连接的方式有哪些? 分别采用哪些分板工艺?
- (3) V-CUT 分板工艺流程是什么? 请详细解释。
- (4) V-CUT 分板主要故障有哪些?
- (5) 请解释铣刀式分板原理, 该工艺有何优点?
- (6) 铣刀式分板有哪些故障?
- (7) 铣刀式分板对设计有何要求?

第 10 章 现代电子装联失效分析 及其可靠性



本章要点

-  概述
-  失效分析
-  电子装联可靠性
-  焊接工艺可靠性提升
-  其他装联工艺失效及其可靠性



10.1 概 述

本章主要聚焦于单板焊接工艺可靠性的内容,包括失效分析和常用的焊点可靠性评估方法,并配备案例及大量图表,以便读者理解和掌握。

10.2 失 效 分 析

10.2.1 失效分析简介

失效分析是一门发展中的新兴学科,是对已失效产品的一种事后检查,是根据失效模式和现象,通过分析和验证,模拟重现失效的现象,找出失效的原因,挖掘出失效的机理,提出预防再失效的对策的技术活动和管理活动。

1. 名词及定义

- (1) 失效:丧失功能或降低到不能满足规定要求的现象。
- (2) 失效模式:失效现象的表现形式,与产生原因无关,如开路、短路、参数漂移等。
- (3) 失效机理:失效模式的物理、化学变化过程,并对导致失效的物理、化学变化提供解释,如电化学迁移、热疲劳断裂等。工程上,有时会把失效原因说成失效机理。

2. 失效分析的目的

- (1) 找出产品失效的原因,为处理意见的给出提供重要的技术参考。
- (2) 给出相应的整改及预防措施,减少或预防同类产品的失效现象重复发生,保证产品质量,提高产品竞争力。
- (3) 为企业技术开发、技术积累提供信息,增加企业产品技术含量。

3. 失效分析的分类

根据分析目的的不同可分为:

- (1) 狭义的失效分析:主要目的在于找出引起产品失效的直接原因。
- (2) 广义的失效分析:不仅要找出引起产品失效的直接原因,而且要找出技术管理方面的薄弱环节。
- (3) 新品研制阶段的失效分析:对失效的研制品进行失效分析。
- (4) 产品试用阶段的失效分析:对失效的试用品进行失效分析。
- (5) 定型产品使用阶段的失效分析:对失效的定型产品进行失效分析。
- (6) 修理品使用阶段的失效分析:对失效的修理品进行失效分析。



4. 失效分析的一般流程

业内失效分析的流程模型存在很多，但大同小异，现举例说明，如图 10.1 所示。

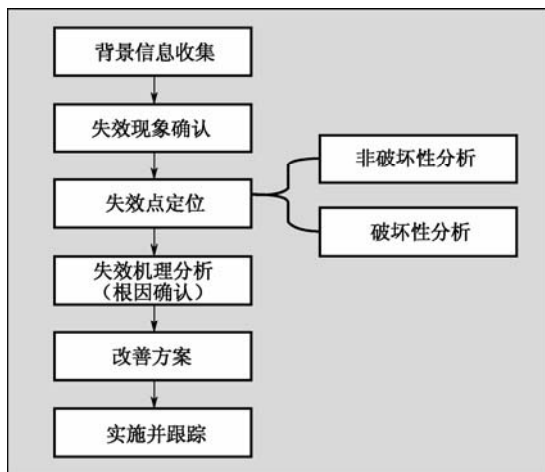


图 10.1 失效分析流程模型

1) 背景信息收集

原始信息收集务必准确可靠，错误的原始信息可能让分析事倍功半。

(1) 基本信息：样品型号、失效批次、制造日期、关键物料使用与变更情况等。

(2) 技术信息：失效率、失效历史、失效环境、相关电路原理图、元器件 Datasheet、PCB 焊盘表面处理工艺等。

2) 失效现象确认

根据反馈信息需对失效样品进行失效现象再确认，确保索要分析样品的准确性。

3) 失效点定位

根据失效现象，结合经验，按照先无损再有损的原则对失效品进行分析，找出导致产品失效的直接原因，只有这样，才可以避免丢失关键信息、避免引入新的人为损伤。

(1) 非破坏性（无损）分析方法：外观检查、X-Ray/CT 检查、超声波扫描（C-SAM）等。

(2) 破坏性（有损）分析方法：染色实验、切片实验、焊点强度实验等。

4) 失效机理分析（根因分析）

对导致产品失效原因的物理、化学变化的解释，使其有因有果，符合逻辑推理；在分析过程中需要失效现象再现实验，实验过程中可能会涉及环境和机械类实验。

5) 改善方案

根据对失效机理的分析与结论，结合产品的实际情况，提供有效的解决方案。



6) 实施并跟踪

实施改善方案, 跟踪实施的效果, 如改善效果不理想则需要重新提供可行的改善方案, 直到产品可接受为止。

10.2.2 常用手段及标准

失效分析过程中会涉及许多分析手段, 不同的实验项目的应用场合也不同, 需要分析人员根据实际情况进行选择, 下面对常用分析手段进行分类介绍。

1. 非破坏性的分析手段

1) 外观检查

失效分析开始前, 需对所有样品进行外观检查, 查找有无可视缺陷, 记录所有数据。

(1) 参考标准: IPC-A-610 E 电子组件的可接受性。

(2) 主要检查内容: 失效部位形貌、焊点润湿状态、机械损伤或烧伤现象、表面脏污情况等, 如图 10.2 所示。

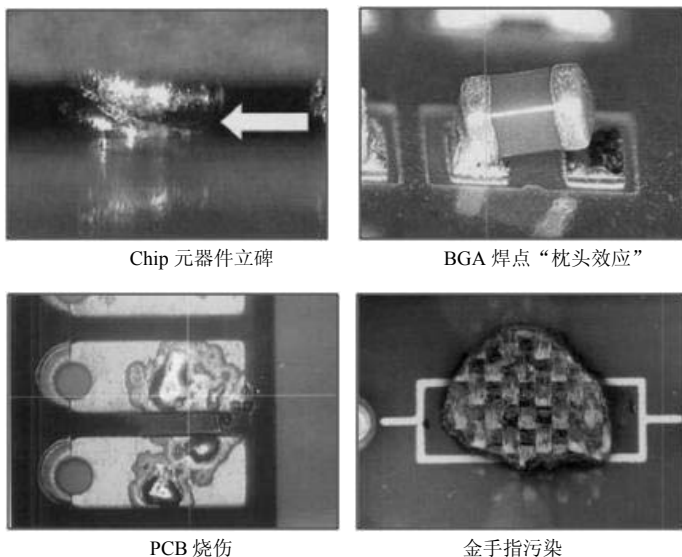


图 10.2 外观检查缺陷图示

(3) 设备: 一般采用显微镜进行观察, 光学显微镜的放大范围为 5~400 倍, 如图 10.3 所示; 金相显微镜的放大倍数范围为 50~1000 倍, 如图 10.4 所示。

2) X-Ray/CT 检查

X 射线检查的优势就是可以对肉眼看不到的地方进行检查, 其原理是通过被检查物体对射线吸收程度不同, 并将这种差异以灰度的方式体现出来, 从而直观反映出样品内部材料与结构组成。



图 10.3 光学显微镜



图 10.4 金相显微镜

X-Ray 只能对样品进行平面检测, 在样品检查分析时存在一定制约, CT 可以很好地弥补这一缺陷, 通过对样品的 360° 扫描成像, 对成像进行分析并组合, 最终得出 3D 图像。

(1) 参考标准。

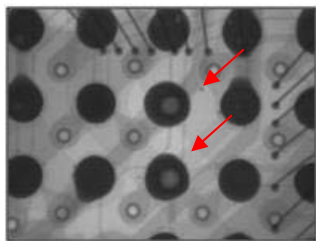
① GJB 548B—2005 微电子器件试验方法和程序方法。

② IPC-A-610 E 电子组件的可接受性。

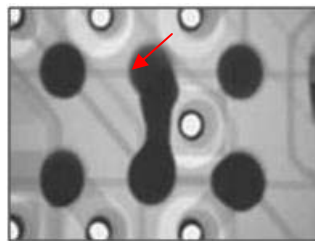
(2) 主要检查内容。

① X-Ray: 桥接、开路、钎料不足、空洞、PCB 内部走线、IC 内部键合状态等, 如图 10.5 所示。

② CT: 除 X-Ray 检查内容外, 还可检查器件内部结构、结构切片检查等, 如图 10.6 所示。

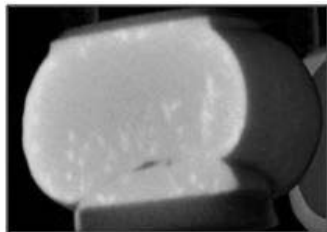


BGA 焊点桥接

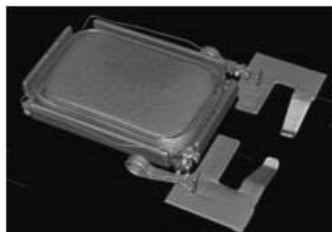


BGA 焊点空洞

图 10.5 X-Ray 检查缺陷图示



扬声器内部结构



BGA 缺陷焊点截面

图 10.6 CT 检查缺陷图示

(3) 设备: 如图 10.7 所示, 该设备集 X-Ray 和 CT 功能于一体。

3) 超声波扫描 (C-SAM)

C-SAM 检测主要应用于封装内部结构分析, 可以在不需要破坏封装的情况下探测到分层、



空洞和裂缝，且拥有类似 X-Ray 的穿透功能，并可以找出问题发生的位置和提供接口数据。



图 10.7 X-Ray/CT 设备图示

C-SAM 工作原理为电能经由聚焦转换镜产生超声波触击在待测物品上，将声波在不同接口上反射或穿透信号接收后进行影像处理，再对影像及信号加以分析。

(1) 参考标准。

① J-STD-035 非气密封装电子元器件声学显微检查方法。

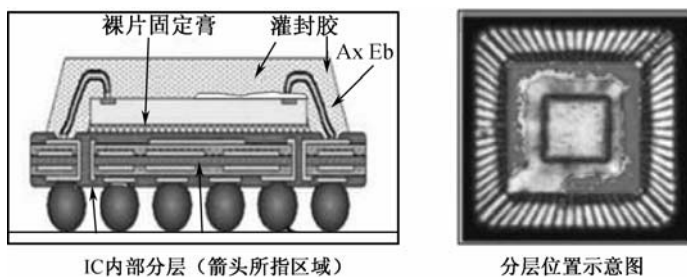
② J-STD-020D 非气密固态表面安装器件的潮湿/回流敏感度分级标准。

(2) 主要检查内容。

① 内部裂纹。

② 分层缺陷，如图 10.8 所示。

③ 空洞、气泡、空隙等。



IC 内部分层 (箭头所指区域)

分层位置示意图

图 10.8 分层缺陷示意图

(3) 设备：C-SAM 设备如图 10.9 所示。

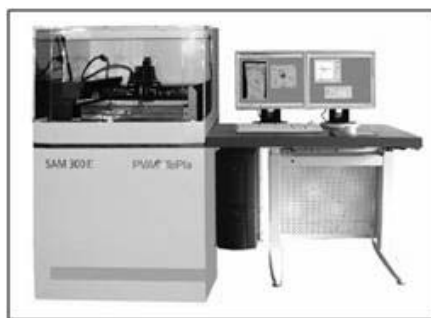


图 10.9 C-SAM 设备图



2. 破坏性的分析手段

1) 染色实验

染色实验常用于 BGA 等阵列式焊点的质量检测, 通过将焊点置于染料中, 让染料渗入焊点裂纹中, 干燥后将焊点分离, 检查分离界面是否都被染色, 以此来判断焊点是否存在缺陷。

(1) 实验流程, 如图 10.10 所示。

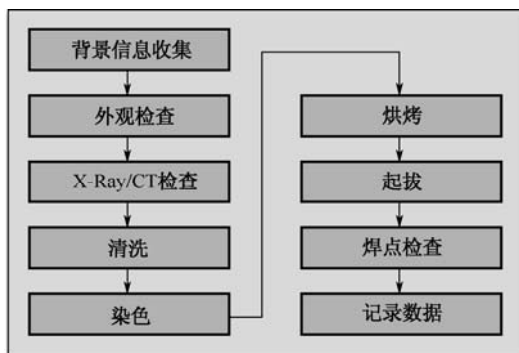


图 10.10 染色实验流程图

(2) 主要检查内容。

- ① 常用于 BGA 焊点的缺陷检查, 如图 10.11 所示。
- ② 也用于其他封装形式的焊点缺陷检查。

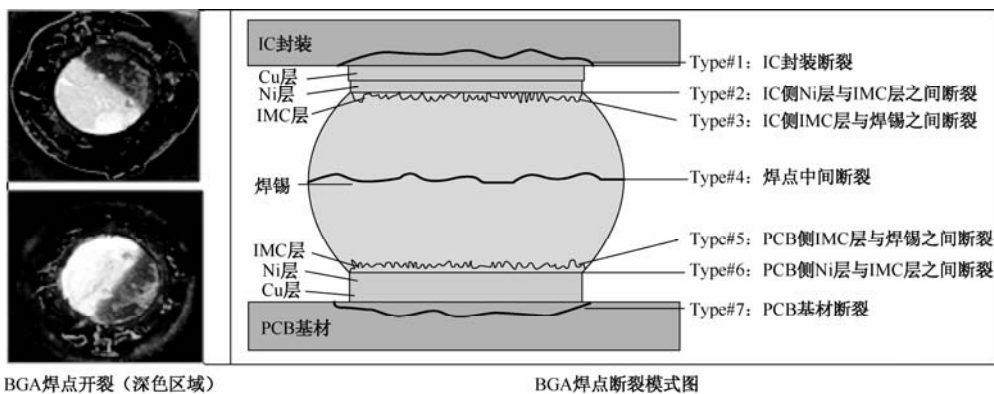


图 10.11 染色焊点开裂示意图

(3) 焊点失效分布示意图如图 10.12 所示。

2) 切片实验

切片实验常用于检查样品的微观组织结构、缺陷查找与确认等, 通过将样品镶埋并研磨抛光得到所需检查的截面, 利用金相显微镜对截面进行检查。

(1) 参考标准。

- ① IPC-MS-810 高容量金相切片准则。
- ② IPC-TM-650 2.1.1 手动微切片法。

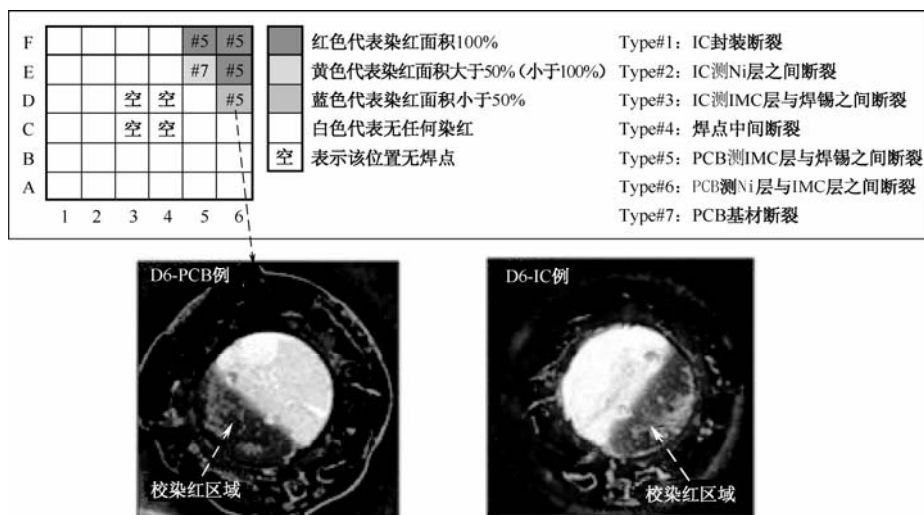


图 10.12 焊点失效分布示意图

(2) 实验流程, 如图 10.13 所示。

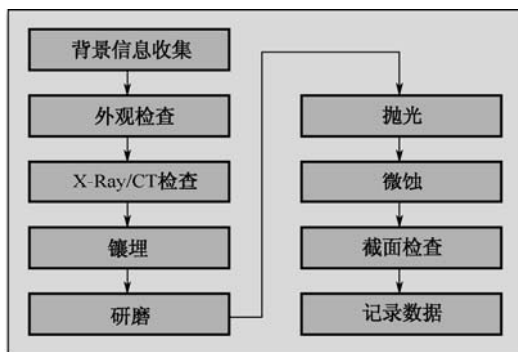


图 10.13 切片实验流程图

(3) 主要检查内容。

- ① 焊点焊接质量及互连状态, 如图 10.14 所示。
- ② 评估 PCB 工艺质量。
- ③ 为其他实验进行样品制备。

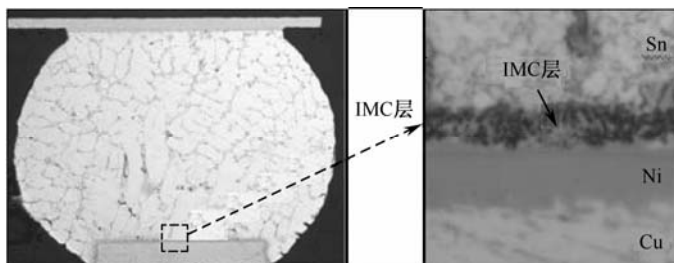


图 10.14 焊点焊接质量示意图

(4) 设备: 切片实验设备如图 10.15 所示。



研磨并抛光机



金相显微镜

图 10.15 切片实验设备图

3) 应变实验

电子产品在生产的过程中,产品不可避免会产生变形,其核心组件 PCBA 上的焊点会受到应力的侵扰,当受力过大时就会导致焊点开裂,从而影响产品功能。

应变实验基于电阻应变测量技术,通过测量样品表面应变量,再根据应变-应力的关系,将应变换算成应力变化,从而进行判断,如图 10.16 所示。

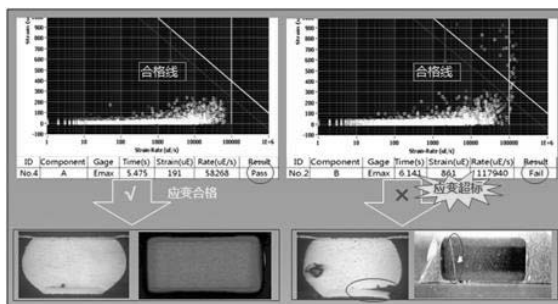


图 10.16 应力测试图

- (1) 参考标准: IPC/JEDC-9704 印制线路板应变仪测试指南。
- (2) 主要检查内容: 定量评估生产和装配中单板的变形情况。
- (3) 设备: 应变实验设备如图 10.17 所示。

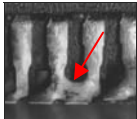

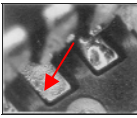
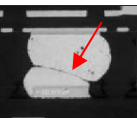

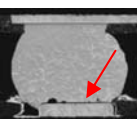
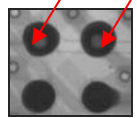


图 10.17 应变测试仪

10.2.3 焊接缺陷失效分析谱

PCBA 的生产和组装过程中存在各种焊接缺陷,不同的焊接缺陷有着不同的失效模式以及失效机理,接下来简单总结一下比较常见的焊接缺陷,参见表 10.1。

表 10.1 常见焊接缺陷及对策

缺陷	描述/说明	原因分析	对策
桥连	<p>横跨在不应该相连的导体上的焊接连接</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 锡膏来料坍塌性不合格; 锡膏印刷不良; 贴片不准; 焊盘尺寸不符合要求; 再流焊温度过高, 锡膏过度坍塌 	<ul style="list-style-type: none"> 控制辅料质量; 优化工艺参数, 包括丝印、贴片精度、贴片力度、降低回流最高温度或减少回流时间等
不润湿	<p>熔融的焊料不能与金属基材(母材)形成金属键合</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 器件焊端/PCB 焊盘污染严重, 可焊性差; 器件引脚共面度差; 焊盘无锡膏 	<ul style="list-style-type: none"> 严格控制器件/PCB 来料质量; 在安全存储期内使用; 定期检查焊膏印刷参数、定期擦钢网; 使用活性强的锡膏
冷焊	<p>焊接连接呈现出润湿不良及灰色多孔。焊膏未完全熔化, 未形成有效的 IMC 层</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 焊接温度低, 未达到金属熔融最低温度; 焊接时间不足, 未形成良好的 IMC 层 	<p>焊接的峰值温度必须高于焊膏熔融温度 11~12℃</p>
球窝	<p>简称为 HIP, 在回流阶段锡球与锡膏间没有融合, 锡球好像是是整个锡膏连接在一起, 但实际上它只是放在没有形成相互融合的窝坑里或突堆上</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 焊球表面严重氧化; 贴片不准; 器件/PCB 回流时变形; 焊膏量不足; 锡膏活性低 	<ul style="list-style-type: none"> 严格控制器件质量, 在有效存储期内使用; 优化回流曲线, 减小器件热变形; 增加锡膏印刷厚度; 选用活性强的锡膏
立碑	<p>元器件在回流时, 由于两端表面张力不同时, 一端出现翘起导致焊接缺陷的产生</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 贴片不准; 元器件焊端氧化, 可焊性差; 漏印或两端锡膏量不一致; 板面温度不均匀; 预热温度低; 焊盘设计不规范 	<ul style="list-style-type: none"> 加强贴片精度; 严格控制器件质量, 在有效存储期内使用; 定期检查焊膏印刷参数、定期擦钢网; 优化回流参数; 合理设计焊盘尺寸
焊点开裂	<p>产品在生产或工作时焊点出现开裂, 导致产品功能失效</p> 	<ul style="list-style-type: none"> PCB 焊盘 ENIG 工艺表面处理异常; BGA 芯片受潮, 回流时严重变形; PCB 与芯片之间的热膨胀系数 (CTE) 失配 	<ul style="list-style-type: none"> 选用 OSP 等表面处理工艺替代 ENIG; 对怀疑受潮物料进行烘烤再上线; 通过延长熔点以上的温度进行改善
空洞	<p>IPC 标准中规定 BGA 焊点内部空洞率应当小于 25%</p> 	<ul style="list-style-type: none"> BGA 焊球氧化严重; 焊球与焊膏的相对量不合适; 焊盘盲孔内残留有机物 	<ul style="list-style-type: none"> 严格控制 BGA 来料质量; 减少焊膏量; 严格控制 PCB 来料质量



10.2.4 失效分析应用举例

以下为某产品上厚膜电阻硫化失效分析案例。

现象表现及描述：在北方某站点，某 PCBA 运行大约一年后发现 5 块排阻失效，重新加焊料可以修复。失效排阻在 PCBA 上的位置并不固定，表现出一定的随机性，工作地区环境较差，雾霾严重，附近可见一些烟囱，对排阻进行重焊，故障消失，说明故障的发生与排阻相关。

1. 外观和 X-Ray 检查

采用放大镜和体视显微镜观察了失效位置的排阻及其他位置的焊点情况，焊点上锡形态良好，焊点外观没有明显异常，X-Ray 检查同样无明显异常发现，如图 10.18 所示。

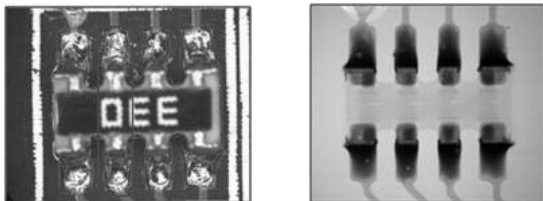


图 10.18 故障排阻焊点外观图及 X-Ray 图

2. SEM/EDX 分析

对故障样品排阻进行 SEM/EDX 分析，如图 10.19 所示。

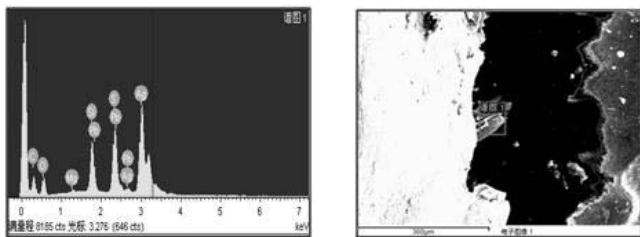


图 10.19 故障排阻 SEM/EDX 分析代表性图

从图中可以看出：失效排阻的端子同玻璃釉的缝隙处生长出大量片状晶体，成分测试表明该晶体为 Ag_2S 。说明电阻内部的银电极被硫化，而且通过端子与玻璃釉的缝隙生长到本体外表上来。同时，对板上周边其他排阻也进行了类似检查，结果发现目前暂未失效的排阻表面也存在大量的 Ag_2S 晶体，说明该板上这种排阻已普遍被硫化。

3. 切片分析

为了进一步验证，对失效样品进行切片，从截面方向观察焊点以及电阻内部电极的情况。结果表明：失效位置的焊点界面结合良好，IMC 生长正常，电阻内部的 Ag 电极已经发生断裂，如图 10.20 所示。

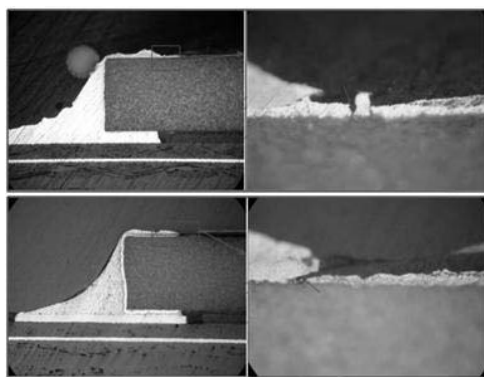


图 10.20 故障排阻 Ag 电极断裂图

4. 失效机理分析

从以上分析结果看，排阻故障是由于其内部的 Ag 电极发生了硫化而导致，为了进一步分析该失效是环境因素造成，还是该品牌物料本身的抗腐蚀能力弱，现进行如下两个试验：一个是对失效板的机房灰尘样品进行成分分析，一个是对板上该品牌排阻同其他类型排阻进行对比观察分析。

1) 实验 1: 失效板的机房灰尘样品成分分析

对从机房取回的灰尘进行了成分分析，结果表明：灰尘中 S 的质量百分比超过 4%，Cl 的质量百分比超过 1%。说明机房空气环境是比较差的，如图 10.21 所示。

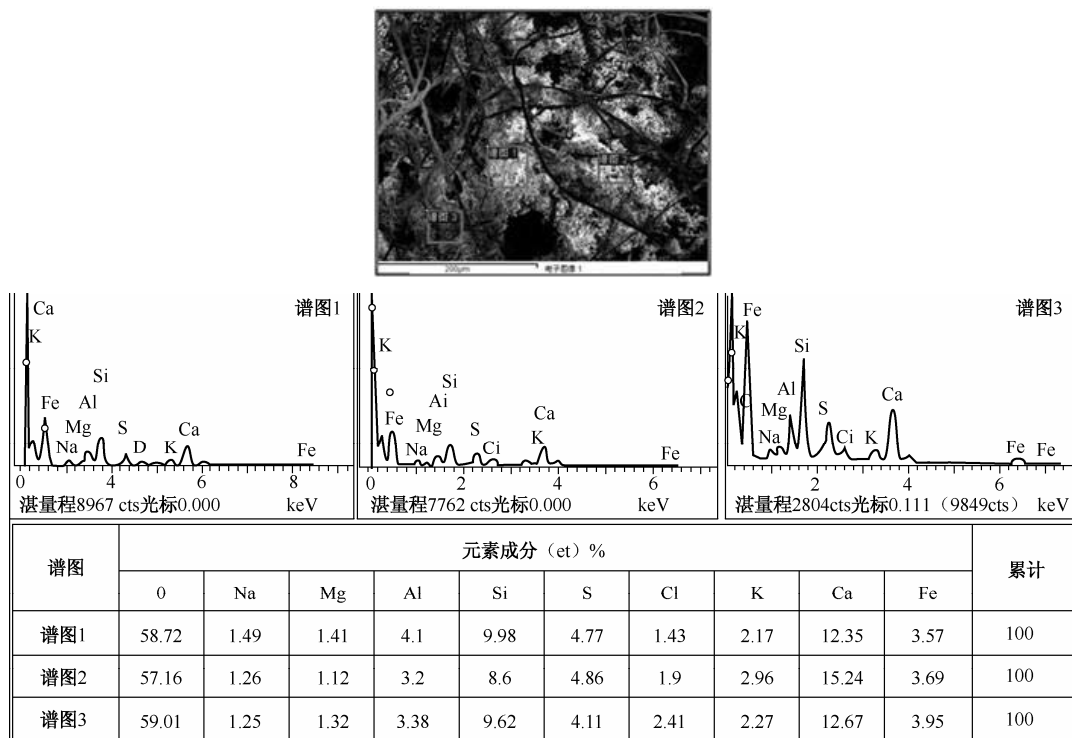


图 10.21 工作机房灰尘取样 EDX 分析数据



2) 实验 2: 对比观察失效排阻与板上其他品牌排阻

对失效板上的该品牌排阻以及其他品牌排阻（封装形式相似）在电镜下进行对比观察，发现该品牌电阻硫化情况相当普遍而且较严重，而其他排阻则未发生硫化或者有轻微硫化。从这个对比结果上可以看出，该品牌排阻的抗腐蚀能力相对来说是比较差的。

综合以上，厚膜电阻工作环境差，空气中存在较多 SO_2 ，为其硫化提供了外部环境，加上其自身抗硫化能力较弱，所以厚膜电阻内部的端电极受到外界环境中的 S 的氧化，生成 Ag_2S ，而 Ag_2S 不导电，它的生成会不断对原有的 Ag 电极结构造成破坏，从而造成电阻内部阻值的升高甚至完全开路。

5. 结论

单板失效是由于板上的排阻本体硫化而造成的，排阻硫化和工作环境差及自身抗硫化能力有关。

6. 改善方案

- (1) 采取三防涂覆，提高产品抗恶劣环境能力。
- (2) 元器件制造商应提高其产品的抗腐蚀能力。
- (3) 机房选址应尽量避免明显的硫污染环境，改善机房内部环境。

10.3 电子装联可靠性

10.3.1 可靠性

可靠性是一门与产品故障作斗争的新兴学科，产生于国防高科技领域。最早在美国国防工业中萌芽、发展、成熟，并迅速向美国民用产品的电子、通信、信息技术等领域渗透。以美国为中心的可靠性系统工程技术后来在英、法、德、日等先进资本主义国家得到广泛应用并获得成功，带来了无法估计的社会财富。为产品提供和保证产品的可靠性是一项复杂的系统工程，由设计来决定，由生产过程和检验来保证，最终通过试验和使用来完成。

1. 可靠性基本概念

1) 可靠性定义

根据国家标准 GB 6583—1994 的规定，可靠性是指产品在规定条件下和规定的时间内完成规定功能的能力。为便于理解，下面对定义中的“三个规定”进行详细说明。

(1) 规定的条件：指使用条件、维护条件、环境条件和操作技术等，具体可能涉及气候、机械、电应力和电磁环境等。不同条件下产品的可靠性不同，故规定的条件是比较可靠性高低的前提。



(2) 规定的时间：广义上的时间，除时间外，也可是距离、使用次数等。例如，火箭发射系统，只要在 10 分钟内把火箭送上轨道即可；海底电缆，要求在几十年内可靠；家用电器，有几万小时可靠顾客也就满意了。

(3) 规定功能：规定的任务和功能，即产品功能及其性能指标。

2) 可靠性表征

可靠性的评价可以使用概率指标或时间指标，这些指标有可靠度、失效概率、平均寿命等。

(1) 可靠度 $R(t)$ 。

产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的概率称为可靠度，一般用 $R(t)$ 表示。若产品的总数为 N_0 ，工作到 t 时刻产品发生的故障数为 $r(t)$ ，则产品在 t 时刻的可靠度的观测值为

$$R(t) = \frac{N_0 - r(t)}{N_0}$$

现在即使是民用产品对可靠性的追求也是非常高的。例如，现在车用电子设备的可靠度设计要达到 1×10^{-6} ，而美国的阿波罗探月宇航飞船的可靠度要求达十亿分之一的水平。

(2) 失效概率 $F(t)$ 。

失效概率 F 是表征产品在规定的条件和规定的时间内，丧失规定功能的概率，也称为不可靠度。它也是时间 t 的函数，记作 $F(t)$ ，可近似表示为

$$R(t) \approx \frac{n(t)}{N}$$

(3) 失效概率密度 $f(t)$ 。

失效概率密度表示失效概率分布的密集程度，或者说是累积失效概率函数 $F(t)$ 的变化率，当 Δt 足够小时，则可近似表示为

$$f(t) \approx \frac{[F(t + \Delta t) - F(t)]}{\Delta t}$$

结合以上的公式，得到：

$$f(t) \approx \frac{[n(t + \Delta t) / N - N(t)]}{N} = \frac{n(\Delta t)}{N \times \Delta t}$$

(4) 平均寿命。

产品投入使用到发生故障的平均工作时间。对于不可修复系统的 MTTF (Mean Time To Failure) 是指失效前平均工作时间，用数学描述为

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} t \times f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

若产品的故障概率密度 $f(t)$ 按指数分布，且 $\lambda(t) = \text{常数}$ 时：

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda}$$

可修复系统 MTBF (Mean Time Between Failure)。对一系统，在发生故障后，如果经过维修能够恢复到正常状态，这种系统称为可修复系统。可修复系统的维修工作难易不同，表征维修难易程度的量叫维修度，记作 M ，即可修复系统在规定条件下和在规定时间内完成维



修的概率。

系统维修后恢复正常工作,工作一段时间以后又会发生故障,两次故障之间的时间叫故障间隔,它是一个随机变量,各故障间隔的平均值叫平均故障间隔,记为 MTBF。若系统的可靠度为 $R(t)$, 则有

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

若 T 服从参数为 λ 的指数分布, 则:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

2. 产品寿命特性

通常用如图 10.22 所示的曲线来描述产品的寿命特性, 由于该曲线的形状类似浴盆, 所以称之为“浴盆曲线”。

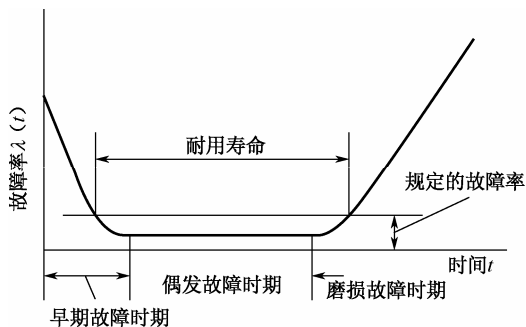


图 10.22 浴盆曲线

从变化曲线看出产品的失效率基本可划分为三个时期, 即早期故障时期、偶发故障时期(或稳定使用期)和磨损故障时期。

(1) 早期故障时期: 失效发生在产品使用的初期, 失效率较高, 随工作时间的延长而迅速下降。造成早期失效的原因大多属生产型缺陷, 由产品本身存在的缺陷所致。通过可靠性设计、加强生产过程的质量控制可减少这一时期的失效。进行合理的老化、筛选从而尽可能在交付使用前把早期失效的器件淘汰掉。

(2) 偶发故障时期: 失效率很低且很稳定, 近似为常数, 器件失效往往带有偶然性。这一时期是使用的最佳阶段。

(3) 磨损故障时期: 失效率明显上升, 大部分器件相继出现失效。一般出现在产品使用的后期。耗损失效多由于老化、磨损、疲劳等原因使器件性能恶化所致, 应及早更换器件以保证设备的正常工作。

3. 可靠性与质量的关系

在评价一个产品好坏的时候, 经常碰到质量和可靠性这两种提法, 比较容易混淆, 所以在里澄清一下。质量和可靠性这两者之间的关系有广义和狭义之分, 一般在特定的场景下, 强调更多的是狭义上的概念, 即两者之间有明显区别或界限的。

质量是产品和服务的特性符合给定的规格要求, 一般是看得见和测得出的, 而可靠性则

看不出也测不出。例如，一部手机无论在生产过程中还是出厂时，可以通过一些量化或定性的质量指标进行检验确认是否达标，而对于这个手机到底能用多久以及多少台手机在使用中会提前失效，我们不得而知。业内一般以产品出厂前后来划分质量与可靠性的界限，交货前生产过程的不合格为质量问题，交货使用后的失效为可靠性问题，如图 10.23 所示。

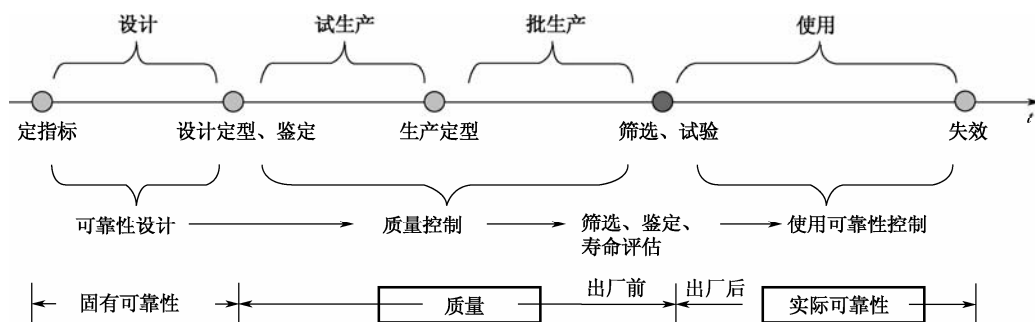


图 10.23 可靠性与质量的区别

10.3.2 电子装联可靠性

1. 重要性

电子产品的“轻、薄、短、小”和迈向高集成、高复杂的趋势日益明显，组装密度的骤升和焊点的微型化给单板的电子装联可靠性带来巨大挑战。在许多场合下，电子装联可靠性已经成为制约整个产品可靠性的瓶颈，而且这种趋向往后将更加突出。

所谓电子装联可靠性，就是指装联技术上保障产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力，近年来已成为产品可靠性的重要分支之一。在板级电子装联中，PCB 与元器件之间的“连接”是一条主线，而焊接则为重中之重，至少占有所有连接方式的 95% 以上。目前，电子产品中采用微电子器件和功能模组越来越多，微电子封装中的焊点也越来越小，而其所承受的力学、电学和热学负荷却越来越重，对焊点可靠性要求日益增高。例如，新兴的芯片尺寸 (CSP)、微间距的钎料球阵列 (μ BGA)、堆叠封装 (POP) 等技术，均要求通过焊点直接实现不同材料间的电气、热和机械等的连接。就是这些大量的、细小的、不可视的焊点的质量与工艺可靠性，几乎决定了整个产品系统的质量和设计的总体可靠性。所以，焊点自然成为电子装联可靠性的关注焦点，如何评价其可靠性是装联工艺的核心内容。

2. 可靠性测试标准

与整机一样，焊点的可靠性评价通常有现场和实验室模拟两种方式。考虑到可操作性，一般采用实验室模拟评价的居多，当然现场使用依然非常重要，是确认实验室模拟准确性的主要依据。实验室评价所涉及的测试应力是根据产品在储存、运输和使用的实际情况而定，但测试要求往往更为严苛。下面列举的在电子装联领域常用的焊点可靠性评价方法，涉及的行业标准有 IEC 68-2、IPC、IPC TM-650、MIL STD 883、GB/T 2423、JESD 等。表 10.2 给出了焊点在不同环境应力下用到的试验项目。

表 10.2 常见的环境应力测试

失 效 模 式	可能的环境应力	试 验 项 目
焊点开路（断裂）	日夜与季节导致温度变化； 开机与停机状态的温度变化	热循环试验
	使用与转移现场温度的变化	热冲击试验
	储存期间的热应力	高温储存试验
	跌落碰撞	机械跌落试验
	按键与不准确的把握与移动	三点弯曲试验
	车载使用	随机振动试验

1) 温度循环

热循环试验适用于揭示、评估由剪切应力引起的“蠕变—应力释放”疲劳失效机理和可靠性,在焊点的失效分析和评价方面应用非常广泛。

(1) 目的：评估焊点在昼夜气温变化环境下焊点的疲劳寿命。

(2) 试验设备: 温度循环试验箱分为恒定试验箱和交变试验箱两种, 一般采用高低温交变试验箱或高低温交变湿热试验箱, 如图 10.24 所示。



图 10.24 温度循环试验箱

(3) 参考标准: IPC-9701——表面贴装锡焊件性能测试方法与鉴定要求, 典型的温循曲线如图 10.25 所示。

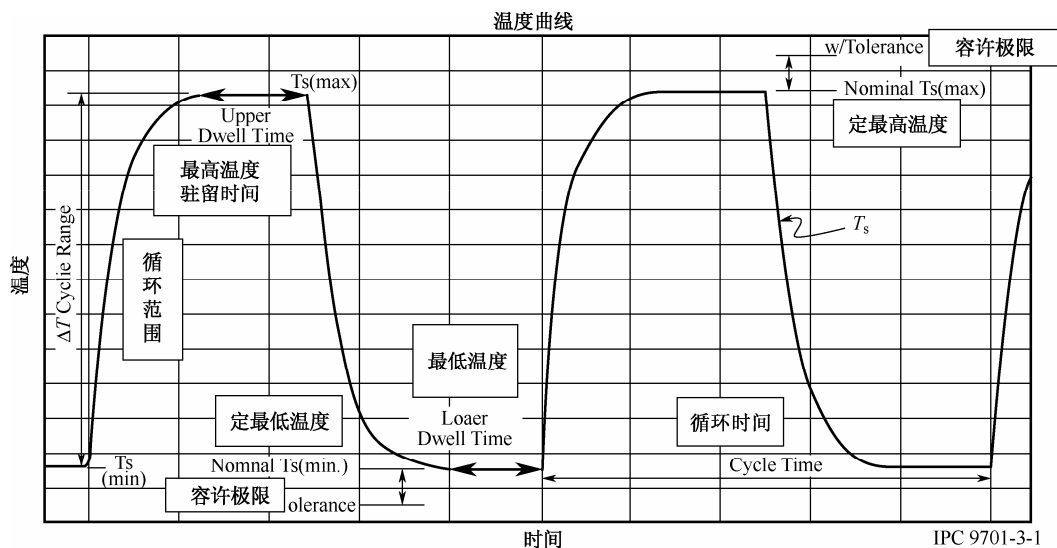


图 10.25 温度循环试验条件



(4) 试验过程。

- Step1: 确定样品数量, 推荐为 33 个样品, 并将样品放置于试验箱内, 为了尽量避免温度的不均匀现象, 建议将样品均匀分布。
- Step2: 根据产品试验严酷等级, 选择合适的温度范围, 根据 IPC9701 测试标准, 推荐的高、低温取值如下:

测试条件	强制条件
温度循环 (TC) 条件:	
TC1	0℃ ↔ +100℃ (首选参考)
TC2	-25℃ ↔ +100℃
TC3	-40℃ ↔ +125℃
TC4	-55℃ ↔ +125℃
TC5	-55℃ ↔ +100℃

- Step3: 设定高、低温停留时间, 温度变化率, 循环周期数等试验参数。高、低温停留时间推荐 10min, 温度变化率小于等于 20℃/min, 循环周期数推荐从下表中选择。

测试持续时间	任何条件首先发生: 50% (最好为 63.2%) 累积失效 (首选参考测试时间)
热循环次数 (NTC) 要求:	或
NTC-A	200 次循环
NTC-B	500 次循环
NTC-C	1000 次循环 (对 TC2, TC3 或 TC4 首选)
NTC-D	3000 次循环
NTC-E	6000 次循环 (对 TC1 首选)

- Step4: 失效判定。根据 IPC9701 测试标准对失效的定义, 在 5 个连续监测读数/扫描内, 阻抗 (菊花链设计) 增加 20% 则判断样品失效。

2) 热冲击

热冲击试验, 也称温度冲击试验。在热冲击中, 极其迅速的温度变化 ($\geq 30^\circ\text{C}/\text{min}$), 将导致表面组装组件的变形。变形将导致拉伸和剪切应力, 而且在整个热稳定状态也一直存在在拉伸应力。这样, 即使热膨胀系数匹配, 在热冲击时也表现为焊点失效。因此, 可以说热冲击试验适用于拉伸和剪切应力引起的可靠性问题评价与分析。另外, 它在 PCB 的可靠性评价方面也应用很多。

(1) 目的: 评估产品对周围环境温度急剧变化的适应性, 也用于暴露单板上焊接存在短板的元器件。

(2) 试验设备: 热冲击试验有两类, 一类是试验样品交互暴露于高温空气与低温空气中; 另一类是试验样品交替浸入高温液体与低温液体中。前者被称为气槽热冲击试验 (一个箱体内部), 后者被称为液槽热冲击试验。气槽热冲击试验与液槽热冲击试验的不同主要是温变速率的不同。液槽热冲击试验的温度跨度更大、温变速率更快。如图 10.26 所示为气槽两箱式热冲击设备。



(3) 参考标准: GB/T 2423.22—2012 环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 N: 温度变化。典型热冲击曲线如图 10.27 所示。

(4) 试验过程。

关键参数: 最高温度和最低温度、高低温保温时间、高低温转换时间、循环周期。

- Step1: 确定样品数量, 推荐为 33 个样品, 并将样品放置于试验箱内, 为了尽量避免温度的不均匀现象, 建议将样品均匀分布。



图 10.26 热冲击试验箱

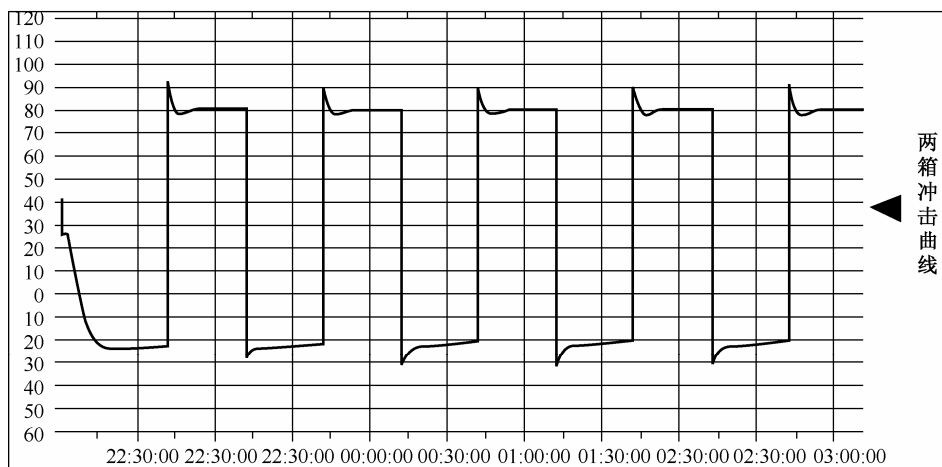


图 10.27 热冲击测试条件

- Step2: 根据产品和试验的严酷等级, 选择合适的高低温, 推荐如下。
低温 T_A (单位: $^{\circ}\text{C}$): -65、-55、-50、-40、-33、-25、-20、-10、-5。
高温 T_B (单位: $^{\circ}\text{C}$): 175、155、125、100、85、70、65、60、55、50、45、40、35、30。
- Step3: 高低温转换时间, 按规定不大于 3 min。
- Step4: 按测试要求, 设定循环周期数。
- Step5: 在 5 个连续监测读数/扫描内, 阻抗 (菊花链设计) 增加 20% 则判定样品失效; 如果是成品板, 则需要进行金相切片来判定焊点是否失效。

热冲击与热循环实验虽具有一定的相似性, 但两者有着本质的不一样, 热冲击试验一般使用二槽式试验装置, 而热循环试验使用单槽式试验装置。前者温度变化率通常要大于 $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 主要用于考量产品不同材料热膨胀系数不匹配导致的可靠性问题, 而温度循环一般要小于

20℃/min，常用于模拟焊点的热疲劳寿命。

3) 机械振动

机械振动试验主要分为随机振动和正弦振动两大类，随机振动指那些无法用确定性函数来描述，但又有一定统计规律的振动。例如，车辆行进中的颠簸，阵风作用下结构的响应，喷气噪声引起的舱壁颤动以及海上钻井平台发生的振动。正弦振动是一种确定性的振动，其任意时刻的振动状态都是明确的，而且是一个确定的数值。正弦振动通常又分为正弦扫频和共振耐久两种，如图 10.28 所示。

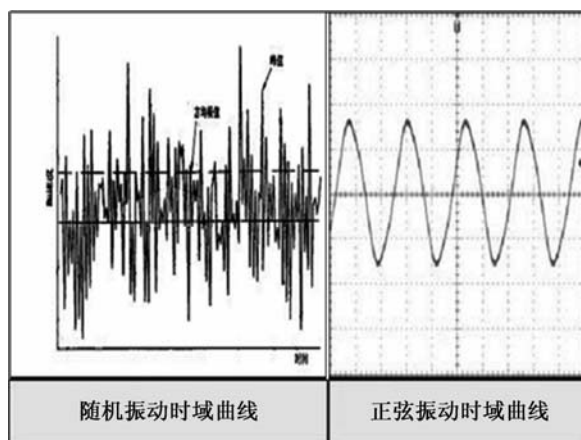


图 10.28 正弦振动与随机振动

(1) 目的：模拟 PCBA 在运输时的振动情况，评估单板的振动适应性。

(2) 试验设备：机械振动设备主要有三大组成部分，分别为振动台、信号控制器和功放。振动台通常又分为垂直振动台和水平振动台两个，主要用于不同方向的振动，如图 10.29 所示。

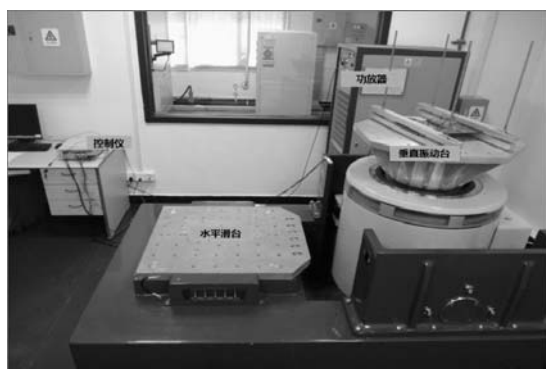


图 10.29 机械振动设备仪器

(3) 参考标准：

① 正弦振动参考标准——GB/T 2423.10—2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）。

② 随机振动参考标准——GB/T 2423.56—2006 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fh：宽带随机振动（数字控制）和导则。



(4) 试验过程。

关键参数：正弦振动——频率范围、扫频耐久循环次数、定频耐久试验持续时间；

随机振动——频率范围、加速度功率谱密度、试验持续时间。

- Step1: 根据实验要求, 确定试验类型。机械振动主要分为正弦振动和随机振动两种, 根据测试的目的不同, 正弦振动又可以分为定频试验和扫频试验。
- Step2: 将样品按照一定的要求, 固定在振动台上。通常, 样品的固定方式不一样, 得到的试验结果也会存在差异。
- Step3: 根据试验的严酷等级和试验类别, 确定试验参数。
正弦振动——频率范围、扫频耐久循环次数、定频试验持续的时间;
随机振动——频率范围、加速度功率谱密度、试验持续时间。
- Step4: 样品是否失效通过单板功能、焊点电阻变化或进行切片等方式进行判别。

4) 跌落

机械冲击试验的方法用来评估电子设备中的元器件和 PCBA 组件可靠性。它用来评估和判定操作、运输或运行过程中, 因突然受力或势能改变的原因, 受中等强度冲击情况下的适应性。

(1) 目的: 评估焊点在受到瞬间应力冲击波作用下的结构可靠性。

(2) 试验设备: 机械冲击的设备如图 10.30 所示, 通过调节缓冲装置可以实现不同冲击加速度和波形。



图 10.30 机械冲击设备

(3) 参考标准:

- ① JESD22-B104-C 元器件机械冲击。
- ② JESD22-B110-A 组件的机械冲击。
- ③ JESD22-B111 手持电子产品元器件板级跌落测试。

(4) 试验过程。

- Step1: 确定样品量, 将样品固定在跌落支撑面上。

- Step2: 根据试验的严酷等级选择跌落的高度、加速度和脉冲时间, 推荐从下表中选择:

严酷等级	跌落高度 (in/cm)	速度 (in/s) /(cm/s)	峰值加速度 (G)	脉冲时间 (ms)
H	59/150	214/543	2900	0.3
G	51/130	199/505	2000	0.4
B	44/112	184/467	1500	0.5
F	30/76.2	152/386	900	0.7
A	20/50.8	124/316	500	1.0
E	13/33.0	100/254	340	1.2
D	7/17.8	73.6/187	200	1.5
C	3/7.62	48.1/122	100	2.0

- Step3: 如果样品采用菊花链设计, 则当监控阻抗增加 20%则判断样品失效, 如果是成品板, 则需要进行下一步的金相切片试验来观察样品是否已经有裂纹等失效现象。

5) 弯曲试验

(1) 目的: 测试单板在弯曲变形下的结构强度, 用于评估不同封装器件焊点的弯曲变形情况下的机械应力可靠性。

(2) 试验设备: 弯曲试验通常分为三点弯曲试验和四点弯曲试验, 主要是通过材料拉伸试验机来实现, 如图 10.31 所示。

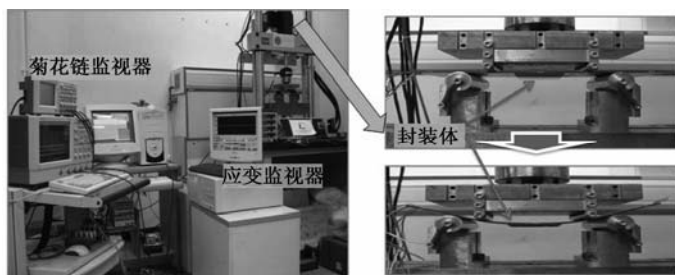


图 10.31 弯曲试验设备

(3) 参考标准: IPC/JEDEC 9702 板极互连的单向弯曲特性。

(4) 试验过程。

- Step1: 参照 IPC9704 标准, 将样品粘贴上应变片。
- Step2: 参照 IPC9702 标准, 设定试验的支撑跨距、载荷跨距和下压速度。
- Step3: 在测试过程中, 实时监控样品菊花链的阻抗变化和应变数值的变化情况。当阻抗增加 20%时, 判定样品失效。此时对应的应变则为样品的应变破坏线。

3. 可靠性评估

焊点可靠性评价的方法是多维度的, 因此, 在对产品的可靠性进行测试评价前, 首先要确定测试的方法, 找出产品的薄弱点, 这样才能对单板开展有效的可靠性评价。下面以新产品为例介绍焊点可靠性评价的基本流程, 如图 10.32 所示。

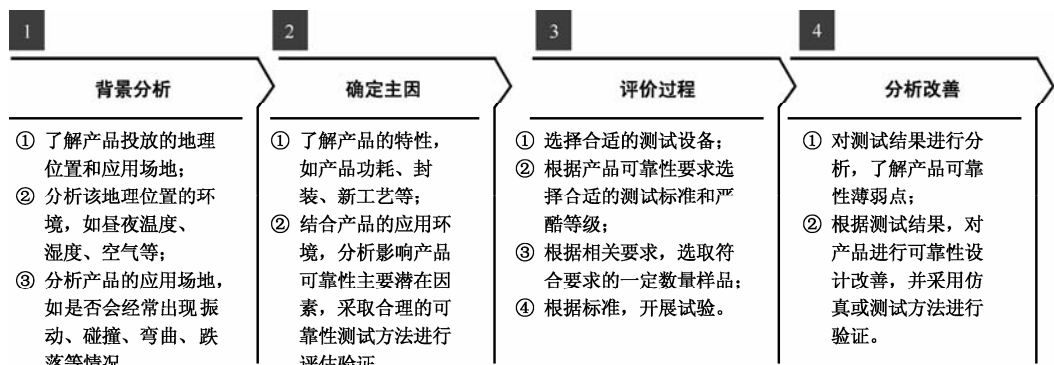


图 10.32 可靠性评估流程

1) 背景分析

使用环境尽管是外在因素,但它对单板焊点使用寿命的影响不容小觑,有时甚至是致命的,成为导致焊点失效的罪魁祸首。所以,在评估一个新的单板工艺可靠性之前,首先要详细了解板子的使用环境。需要了解的环境包括产品投放地理位置的气候环境和应用场景,确认是否存在影响单板的恶劣的化学或物理因素,如气温、湿度、沿海、发电厂、煤矿、振动、碰撞、弯曲变形等,这些因素将从热机应力或化学腐蚀上对焊点寿命带来不利影响。

2) 确定主因

确定主因这一步骤主要分析单板本身的器件或焊接工艺特征,结合外在因素,并通过经验或理论推测,判定板上“最大”风险点。风险点可能是新的焊接工艺,或现有焊接工艺条件下的新器件等。然后根据相关测试标准确定合适的测试和评价方法。

3) 评价过程

具体评价时,主要参照评价标准,选择合适样品、设备及实验方法进行评价。评价可根据实际实验条件,采用动态监控或截尾的方法进行,并及时记录结果。

4) 分析改善

对测试中出现的失效问题,通过先无损后有损的办法进行分析,弄清楚焊点的失效模式、失效机理和具体原因。在找到原因后,制定针对性措施并重复样品制作及可靠性评价等上述工作,以此往复,不断提升单板的焊接可靠性,以最终满足产品要求。

10.4 焊接工艺可靠性提升

10.4.1 固有可靠性影响因素

焊接工艺固有可靠性是指焊点本身固有的、内在的可靠性,与产品使用环境无关,是产品在设计、制作过程中赋予的固有属性。例如,焊膏型号的选用、焊接工艺控制、器件选型、

PCB 涂层等对焊点的固有可靠性有着非常重要的影响。这些“先天性”的特性，直接影响到产品整个生命周期的可靠性。焊接工艺固有可靠性影响因素介绍如下。

1. 焊料成分

目前市场上的焊料型号种类繁多，不同的型号其组成的合金成分、比例是不一样的。用得比较多的是有铅焊料 63Sn37Pb 和无铅焊膏锡银铜系列。从微观的角度看，不同成分的焊膏在焊接时形成的 IMC 微观组织结构不一样，其相应的力学特性也不一样。从宏观的角度看，不同材质的力学性能参数不一样，无铅锡球的结构刚度较大，有铅锡球的刚度较小，如图 10.33 所示给出了有铅与无铅焊点刚度的示意图，表 10.3 为焊点强度的相关测试数据。因此，在小变形的情况下，无铅焊点的抗机械应力性能优于有铅焊料的焊点。

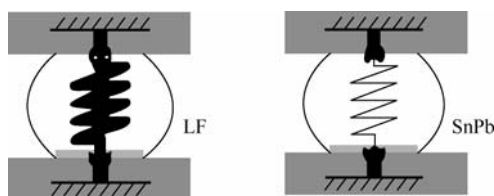


图 10.33 无铅有铅焊球结构刚度比较

表 10.3 无铅与有铅锡球力学参数对比

焊膏成分	屈服强度 (MPa)	延伸率 (%)	弹性模量 (GPa)
Sn3Ag0.5Cu	39.4	46.2	39.4
Sn3.5Ag0.7Cu	38.0	47.4	45.1
Sn37Pb	26.5	56.0	25.8

2. 焊接工艺

焊接工艺的好坏直接影响到焊点的质量，威胁电子产品早期故障率及寿命期的长短。例如，采用有铅焊料 63Sn37Pb 时其再流焊接温度的典型炉温曲线如图 10.34 所示，而采用 SnAgCu 时，其再流焊接的典型炉温曲线如图 10.35 所示。选用不当必然影响焊点的可靠性。

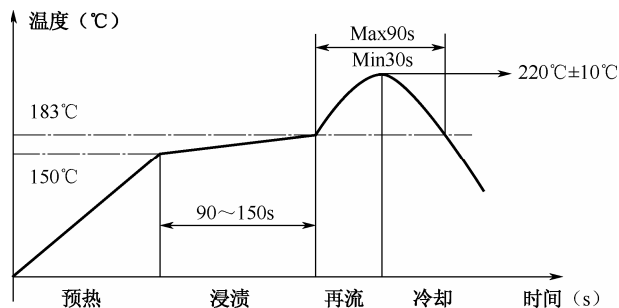


图 10.34 63Sn37Pb 典型再流焊接炉温曲线

不同的焊接条件和炉温曲线对焊点的质量影响如下：

- 升温速度，影响温度的均匀性；
- 预热温度和时间，影响助焊剂的活性和基板上温度的均匀性；

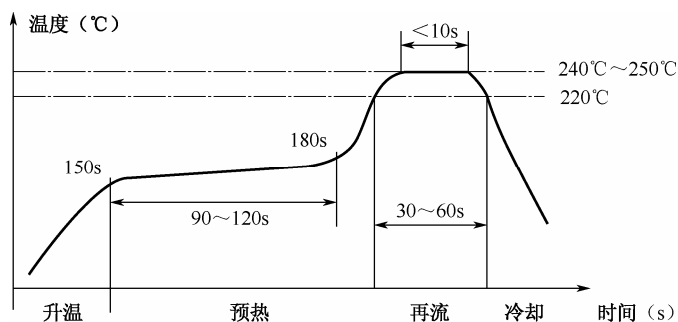


图 10.35 SnAgCu 典型再流焊接炉温曲线

- 峰值温度和保持时间，影响钎料的润湿性和界面合金层的生成质量；
- 冷却速度，影响熔融钎料的固化和焊点的微观组织结构，决定钎料初期的结晶组织和质量。

除此以外，再流炉内的气氛、加热手段及气流的方向和强度等，也将对焊接的状态构成很大的影响。若能对这些条件进行恰当组合，就能确保获得高可靠性的焊点，相反就会使得焊接连接的可靠性变得低劣。

界面合金 IMC 质量是形成良好可靠性焊点的前提。德国 ERSa 研究所的研究表明，生成的 IMC 厚度在 $4\mu\text{m}$ 以下时，对焊点强度的影响不大，参见表 10.4。正常焊接的 CuSn 合金层的厚度通常在 $2\sim 4\mu\text{m}$ 之间，其厚度与焊接时间紧密相关。

表 10.4 IMC 厚度对焊点机械强度的影响

焊盘涂层	钎料成分	250℃时间 (min)	IMC 厚度 (μm)	机械强度 (N)
HASL	Sn32Pb2Ag	1	2.2	54
		10	4.0	56
		60	4.2	12
Ni/Au	Sn3.5Ag	1	5.4	41
		10	7.2	38
		60	9.9	12

3. 电子元器件引脚材料

通过研究电子元器件引脚（电极）所用基体金属材料及其特性，以及采取的各种抗腐蚀性、可焊性保护涂层的焊接性能，涂层在储存过程中发生的物理、化学反应，涂层的成分、致密性、光亮、杂质含量等对焊接可靠性的影响，从而优选出抗氧化能力、可焊性、防腐性最好的涂层，以及获得该涂层最佳工艺条件，是确保焊接互连可靠性的重要因素之一。

在现代电子产品中，已经普遍实现 IC、LSI、VLSI 化，对其所使用的电极材料越来越重视。例如，材料的电阻率、热膨胀系数、高温下的机械强度、材质和形状等都必须细致地考虑。对现代电子工业中的引脚（电极）材料的基本要求是：

- 导电性和导热性要好；
- 热膨胀系数要小；
- 机械强度要大；
- 拉伸和冲裁等加工性能要好。



目前普遍使用的引脚材料可以分为 Fe-Ni 基合金和 Cu 基合金两大类。

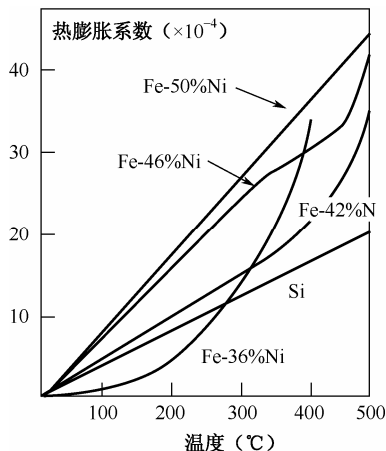


图 10.36 Fe-Ni 基合金和 Si 的热膨胀系数曲线

1) Fe-Ni 基合金

(1) Fe-Ni 基合金特征及使用范围。

Fe-Ni 基合金系中的科瓦合金等品牌，当初是作为玻璃封装使用而开发的。其热膨胀曲线与 IC 芯片的 Si 是近似的，如图 10.36 所示。而且还可将其作为 Au-Si 系焊接的焊料进行直接焊接。因此，在 MOS 系列器件中普遍采用它来作为引脚焊料。

Fe-Ni 基合金系的代表性合金是 42 合金，由于它机械强度大、热膨胀系数小，故广泛用作陶瓷封装芯片的电极材料。

(2) 常用品牌成分及其特性。

主要 Fe-Ni 基合金的特性参见表 10.5。

表 10.5 主要 Fe-Ni 基合金的特性

合金		42 合金	46 合金	科瓦合金
特 性				
成分(wt%)	Ni	42	46	29
	Co	0.5	0.5	17
	Mn	0.8	0.8	0.5
	Fe	余量	余量	余量
物理性能	密度 (g/cm ³)	8.11	8.24	8.35
	熔点 (°C)	1425	1425	1450
	热膨胀系数 (×10 ⁻⁶)	6.4~7.4	8.2~8.9	5.1~5.5
	热传导率 (cal/cm · s · °C)	0.035	0.027	0.039
	电阻率 (μΩ · cm)	70	46	49
机械性能	抗拉强度 (kgf/mm ²)	53	56	53
	延伸率 (%)	30	30	30
	断面收缩率 (%)	70	70	70
	弹性系数 (kgf/mm ²)	14 800	16 200	14 100
	泊松比	0.25	0.28	0.30

由于该合金系存在着磁性及电阻率大的特点，故作为引脚材料是其不足之处。因此该合金专用于功率耗时比较小、产生热量比较小的 MOS 类 IC 器件。

2) 铜基合金

当电子电路进入到大集成化、高密度组装化阶段后，发生在其引脚上的电阻热已成为不可忽视的问题。因此，广泛采用导热性、导电性好及在高温下机械性能好的新 Cu 基合金代替 Fe-Ni 基合金，来满足元器件引脚材料的发展要求，已成为电子元器件业界所关注的问题。



由于 Cu 基合金的导电性能和导热性能均好, 散热性能也不错, 而且与 42 合金相比, 价格上也有优势, 故广泛应用于塑料封装芯片中。

3) Cu 包不锈钢引脚材料

为了能同时满足机械性能和散热性能的目的, 在日本正在开发以不锈钢 (SUS430 系) 作为芯材, 再在其两面按 10/80/10 的比例镀无氧铜的金属包层的新的引线框材料。

4. PCB 焊盘涂层

在焊接过程中, PCB 焊盘涂层通常会熔蚀, 与焊料发生物理化学反应, 形成 IMC 层。不同的涂层材质对 IMC 的微观结构影响是非常重要的, IMC 层的质量直接关系到焊点的可靠性。PCB 焊盘常用涂层对可靠性影响参见表 10.6。

表 10.6 PCB 焊盘涂层对可靠性的影响分析

引脚镀层工艺	对可靠性的影响
ENIG Ni/Au	(1) “黑色焊盘”导致的不润湿或者半润湿, IMC 层质量低劣; (2) 存在“金脆”的风险, 降低焊点可靠性
Im-Sn	(1) 存在锡晶须问题, 对精细间距与长使用寿命器件影响较大; (2) 存在锡瘟现象, Sn 相变点为 13.2℃, 低于这个温度时变成粉末状的灰色锡 (α 锡), 使其强度丧失; (3) Sn 镀层在温度环境下会加速与同层的扩散运动而导致 IMC 生长, 降低焊点可靠性
Im-Ag	(1) Ag 对 S 的亲合力极高, 与大气中微量的 S (H_2S 、 SO_2 或其他硫化物) 生成 Ag_2S 和 Ag_2O 影响可焊性, 进而影响焊点 IMC 质量; (2) 存在 Ag 迁移风险, 降低绝缘电阻
OSP	储存环境条件要求高, 车间寿命短, 若使用不当, 则会影响焊接质量, 最终影响到焊点的可靠性

10.4.2 焊接工艺使用可靠性影响因素

除此之外, 影响焊点可靠性的另一类因素是产品的使用环境, 机械应力、热应力、电化学腐蚀等是威胁焊点使用可靠性的外在因素。

产品在使用过程中, 避免不了电化学腐蚀、环境应力、静电、辐射等因素的影响。通常会采取相应的措施来避免或减少这些因素对产品产生相应的可靠性问题, 常见的影响焊接工艺使用可靠性的因素和对应措施介绍如下。

1. 防潮湿

空气中的湿度会降低电子组件的表面绝缘电阻, 并能加速由于盐雾或不同电化学的金属件的接触腐蚀; 在温度适宜时, 还会加速霉菌的繁殖; 柔软材料吸收湿气后在低温下冻结而导致材料变脆变硬。因此, 必须采取综合措施防止潮湿气体的影响。

(1) 结构性金属零件的防腐蚀: 采用吸湿性小和耐蚀性的金属材料, 如采用不锈钢、铜



合金或某些铝合金之类的耐腐蚀金属。

(2) 采用坚固的防腐蚀涂层, 如对金属进行阳极氧化或化学氧化, 薄板钢的表面镀纯铝(化学的)薄层能有效地预防腐蚀。

(3) 采用化学涂层隔离空气, 或对材料进行憎水处理, 降低产品吸湿性。

(4) 采用环氧树脂、有机硅树脂对元器件进行灌封。

(5) 用抗气候环境性能优良的浸渍材料来填充某些组织性的绝缘材料及组件中的孔隙和毛细管等。

(6) 对储存的元器件零部件、组件和半成品采用密封干燥包装。

(7) 烘干装备的内部空间。

(8) 采取干燥过滤(湿度 $<75\%RH$)的空气对设备循环通风。

(9) 设备工作间安装空调。

2. 防盐雾

盐雾和湿气在电子设备中的凝聚会形成强电解质, 引起金属的电化学腐蚀。而大气中的腐蚀性气体和物质及组装焊接过程中所用的助焊剂等, 对金属材料又将引起化学腐蚀。抑制措施主要有:

(1) 在电子组件表面喷涂三防漆以阻隔;

(2) 采取措施减小相接触的不同电化学金属材料间的电位差;

(3) 采取电化学方法在保护的金属表面形成一层抗腐蚀强的钝化膜。

3. 防霉菌

防霉菌的主要措施有:

(1) 采用能抑制长霉的防霉溶液(杀菌剂)涂覆材料;

(2) 预防长霉的有效方法是把设备内的湿度限制在 $75\%RH$ 以下;

(3) 选用不长霉的材料和采用防霉剂处理零部件或组件;

(4) 将电子组件进行干燥密封;

(5) 对电子组件采用三防涂覆层, 破坏和消除霉菌的生长条件。

4. 热环境

除了在产品设计时选择元器件参数和结构布局等方面要进行认真的热设计外, 在组装工艺中也应采取适当措施, 以确保有良好的散热效果, 常采用的措施如下:

(1) 对发热元器件的安装(如电阻)其引脚应尽可能短些, 大于 $0.5W$ 的电阻不要贴板安装, 以改善散热效果;

(2) 大功率晶体管和 IC 采用散热器散热时, 在芯片和散热器之间的绝缘片两面涂上硅脂或绝缘导热脂, 以减小接触电阻;

(3) 散热器与大功率器件之间的接触面加工应平整光滑, 安装前要进行清洁处理, 以尽可能减小接触热阻;

(4) 安装变压器等发热组件时, 应使铁芯与支架、支架与固定面接触良好, 以减小热阻;



(5) 在 PCB 上采用大铜箔面、铜导热条或铝基板散热时,可用导热绝缘胶直接将元器件粘到这些散热面上。

5. 寒冷环境

- (1) 采用抗旱材料,如选用温度直到 173K 都不失去弹性的特种橡胶,即有机硅胶;
- (2) 在设备配置中配置不致凝冻及结冰的空气预热器;
- (3) 对在野外的工作设备要布置在能有效防止雪、雨和风直接作用的掩体内;
- (4) 对决定电路参数的关键元器件采用恒温措施。

6. 灰尘、水滴环境

当空气中的沙土、白粉和高岭土含量超过空气总体积约 0.1%时,空气就是高尘埃浓度媒质。把含灰尘的空气以 10~15m/s 的速度对准设备吹风,1h 后再打开机壳,若设备元器件面未发现灰尘,则设备被认为是防尘的。在有水滴的媒质中,停留期间能维持其工作能力的设备,称为防溅设备。防溅设备在带水滴的媒质中应维持通电状态不少于 2h,设备的外壳内部不应进水。

(1) 设备自然通风时,冷却空气所经过的全部通风孔都采用防尘过滤器。空气防尘过滤器应用最普遍的为:回绕式阻隔孔、多层金属栅网、玻璃绒和其他材料作为过滤部件。

(2) 在有水滴的媒质中,设备自然通风外孔深入到外壳内部,因此要防止倾斜的雨滴进入百叶窗或小孔内。

7. 静电环境

现代电子设备正朝向小型化、多功能化和高速度方向发展,SSD(静电敏感器件)应用越来越广泛,因静电放电而造成 SSD 的软损伤直接影响设备的质量、寿命及可靠性。据有关资料报到,美国由于元器件受静电放电损伤而造成的经济损失每年约 50 亿美元。

8. 机械应力环境

对于冲击、振动等力学环境,除设计上要采取防护加固措施之外,在工艺上一般采用如下的防护措施:

(1) 提高分立元器件的安装刚度,如尽量缩短元器件引脚长度,尽可能贴板安装并用环氧树脂或聚氨酯胶等将元器件固封在底板上。对于每根引线承受超过 7g 的元器件,应采取绑扎、夹紧等加固措施。

(2) IC 一般要贴板安装,以降低安装高度。

(3) 对恶劣力学环境中使用的 PCBA 组件应按设计要求采用硅胶材料灌封,以将元器件固定。

10.4.3 常见焊接缺陷分析及对策

由于工艺、材料、设备参数等因素的不稳定性,电子产品在焊接过程中避免不了产生缺

陷。发生在制造过程中的缺陷大部分都是肉眼可见的，在工艺过程控制和检验工序中能够发现缺陷，这类缺陷从检验方式上可以分为两类：

- 在目视检查中能发现的外观缺陷，如桥连、拉尖、润湿不良、针孔、少锡、多锡、元器件损伤等；
- 电性能检测中发现的性能异常，如短路、虚焊、冷焊、内部开路等。

通常这类缺陷大部分都可以通过修理予以排除，只有少数在目检中不可能发现的所谓潜在的恶化因素或返修不完善的“合格品”可能会流入市场，这便形成了早期失效故障。

有些焊接缺陷是非常隐蔽的，在产品服役过程中才会出现。因此，这类问题一旦发生，其后果也是非常严重的。以下主要讨论焊接缺陷对产品长期服役性的影响分析。

1. 偏析

金属合金中各部分化学成分的不均匀，称为偏析。在电子组装焊接中，偏析是一种冶金过程发生的缺陷，由于焊点各部分的化学成分不一致，势必使其机械及物理性能也不一样，这样会影响焊点的工作性能和使用寿命。因此，在生产中必须防止合金在凝固过程中发生偏析。偏析对可靠性的影响可列举如下：

(1) 偏析少的微细强化相均匀分布的钎料结晶组织是人们所追求的，然而由于偏析等原因形成的低熔点脆性相，即使在低应力下也会成为破坏的起点。

(2) M. Date 等人在研究沿钎料和 Cu 界面的疲劳裂纹的生长速率与释放的应变能与老化时间的关系时，在 140℃ 下老化 7~30 天，由于 Sn 进入金属间化合物层，老化产生了一个紧挨着界面的 IMC 的连续的富 Pb 相区域，它提供了疲劳裂纹易于扩展的途径。疲劳裂纹扩展的阈值应变能释放率在刚完成再流焊的 25J/m² 到老化 30 天后的 10J/m² 之间变化。

(3) 在热循环试验中，可识别处元器件和 PCB 焊盘界面间的 AuSn 合金层，因为在再流焊过程中浸 Au 层会溶解于焊料中。界面上含 Au 量高形成的 AuSn₄ 层则与富 Pb 区域相邻，如图 10.37 所示。建立在与该层相邻的局部富 Pb 区的界面是不牢固的，缺陷有可能快速蔓延，并沿着 AuSn₄ 金属化合物产生裂纹。

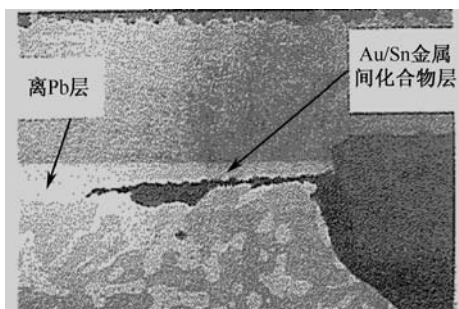


图 10.37 界面上含 Au 量高形成的 AuSn₄ 层与富 Pb 区域相邻

(4) 使用扫描电镜 (SEM) 对焊点进行检测，如图 10.38 和图 10.39 所示，分别为 TCA 热循环后失效的显微照片和 Pb 的分布图。观察这两种失效，可以发现裂纹是沿着富 Pb 区开始和扩展的。

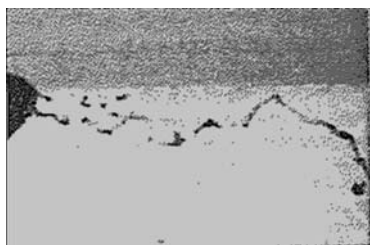


图 10.38 TCA 热循环失效焊点

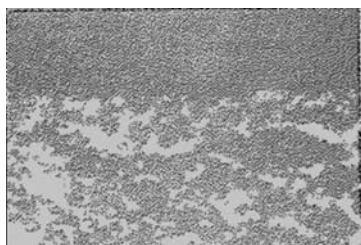


图 10.39 TCA 热循环失效焊点 Pb 分布

(5) 同样, 如图 10.40 和图 10.41 所示, 分别为 TCC 热循环后失效的显微镜图片和 Pb 分布图, 从图中可以发现, 裂纹也是沿着富 Pb 区扩展的, 而晶粒内裂纹并不明显。

针对焊接偏析问题, 有效的措施有:

- 无铅焊接时, 一定要预防 Pb 污染;
- 控制好焊接温度;
- 控制好加热时间, 避免加热时间过长。

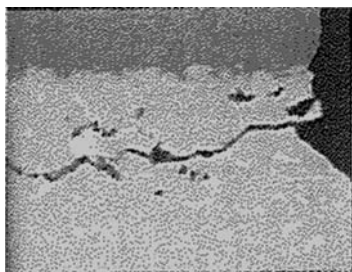


图 10.40 TCC 热循环失效焊点

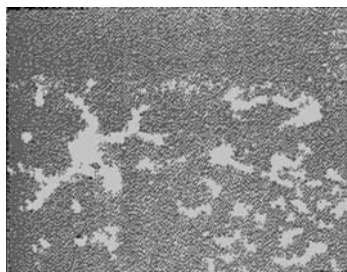


图 10.41 TCC 热循环失效焊点 Pb 分布

2. 黑盘现象

许多公司将 ENIG Ni(P)IAu 用作表面涂层并获得成功。然而, 在将 BGA 与 ENIG Ni(P)Au 涂层结合起来使用时, 其结果并不十分理想, 特别是最近几年, 出现了两种失效模式。

① 第一种失效模式是不润湿或半润湿, 这种现象称为“黑色焊盘”(简称“黑盘”现象)。

② 第二种失效模式是与机械应力相关的层间开裂。ENIG Ni(P)IAu 工艺中出现了黑盘(氧化 Ni)现象, 如图 10.42 所示。甚至当 Au 层已覆盖了 Ni 层, 但由于 Au 层的多针孔性, 导致挡不住氧化 Ni 的上、下生长而形成大片氧化物。严重时大面积黑色焊盘上有腐蚀斑点穿过浸金表面底部的富 P 层延伸到 Ni 层, 如图 10.43 所示。

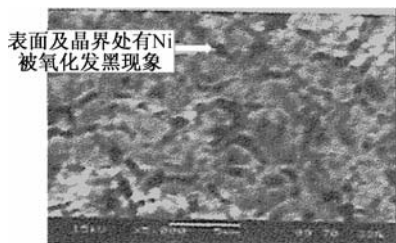


图 10.42 黑 Ni 现象

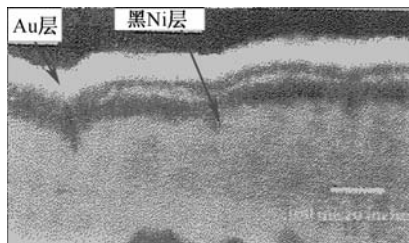


图 10.43 腐蚀斑点穿过 Au 层和富 P 层延伸到 Ni 层

当拆下 CSP 后，其焊点全为黑盘，如图 10.44 所示。

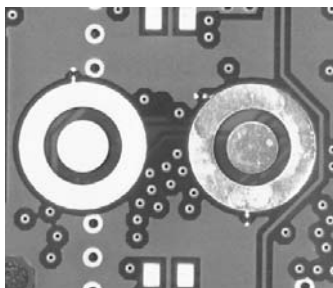


图 10.44 PCBA 的黑焊盘

当黑盘生成后，ENIG 的表面的金镀层并没有明显的变色，容易给人造成焊盘的表面处理仍然良好的假象。当这种焊盘进行焊接时，作为可焊性保护层的 Au 迅速溶解到焊料中去，而被腐蚀氧化了的 Ni 则不能与熔融焊料形成合金化，导致焊点可靠性严重下降，稍受外力即发生开裂，如图 10.45 所示。

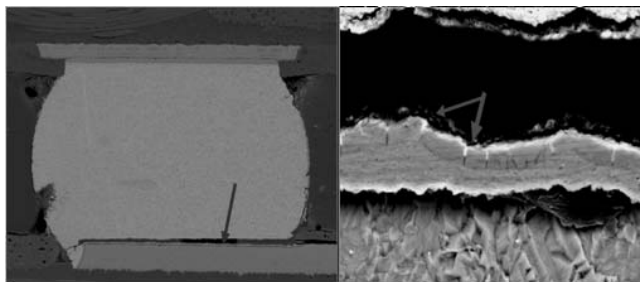


图 10.45 黑盘造成的典型的焊点开裂

对于黑盘的形成，制造阶段主要是要做好镀液的维护以及工艺温度的控制，使镀层中的镍磷比例处于最佳状态。酸性的金水也需要很好维护，其腐蚀性过强时应该及时调整。对于用户而言，首先，最好的手段是使用扫描电子显微镜（SEM）对焊盘的表面处理进行表面观察，主要检查镀金层是否存在裂纹，并用 EDS 分析镍镀层中磷的比例是否在正常范围内；其次，可以选择典型的焊盘来手工焊接并测量其焊点的拉脱强度，异常小的拉脱强度将证实可能存在黑镍；最后一种方法就是对 ENIG 样品进行酸性气体腐蚀试验，如果发现其表面长出粉末或变色，说明焊盘上的金镀层有龟裂，也就说明有黑盘存在的可能。

3. Au 脆现象

Au 是抗氧化性很强的金属，钎料对它有很好的润湿性。但如果钎料中 Au 的含量超过 3%，焊接出来的焊点就会变脆，机械强度下降。为此，美国宇航局（NASA）把除掉 Au 规定为焊接工作的一项义务。

Au 引起的接合部分脆化问题，在贝尔研究所的弗·高尔顿·福斯勤和马尔丁-欧蓝德公司的杰·德·凯列尔等的研究报告中都有详细分析。一般情况下，焊接时间很短，几秒内即可完成，所以 Au 不能在钎料中均匀地扩散，这样就会在局部形成高浓度层，这层的强度最低。

此外，Au 在焊接后光泽变差，颜色发白，从表面看很像冷接合或虚焊。在光亮镀 Au 时，会在镀层界面产生由聚积物引起的裂纹。



在焊接过程中, Au 溶解到钎料中, 在凝固时析出 AuSn_4 并均匀地分布在钎料中, BGA、CSP 等在再流焊焊接的焊点中, Au 的浓度通常都不会超过 1wt%, 故这些焊点通常不会变脆。但近来据有关文献报导, 在焊点固相老化过程中, 析出的 AuSn_4 颗粒会从钎料内部向钎料和 Cu 间的界面运动, 并在界面导致脆性断裂。

含有 Au 的由 Sn37Pb 钎料构成的焊点的机械性能(拉伸、剪切强度和延伸率)是随 Au 含量的不同而不同的。当 Au 的浓度低于 Sn37Pb 钎料的固体溶解度时, 焊点的机械性能便随 Au 含量的增加而增加, 达到最大的溶解度。此后焊点的机械强度将随 Au 含量的进一步增加而降低, 延伸率随 Au 含量的增加而增加, 在约 3wt%处达到峰值, 并在 6wt%处急剧降低。据国外有关专家对该类焊点失效的数据统计和观察, 通常认为 Au 的浓度应限制在 3wt%为宜。

金脆对电子产品可靠性是有害的, 因此, 需要采取相关措施进行控制。随着电子产品用户服役时间的延长, 钎料和焊盘界面 $\text{Au}_x\text{Ni}_{(1-x)}\text{Sn}_4$ 逐渐沉积, 钎料和 Ni/Au 表面的连接变得越来越脆。Au 镀层的厚度会逐渐减薄, 直至钎料中 Au 的浓度达到其固溶度约为 0.3wt%。然而, 虽然 Au 的固溶度随温度的降低而降低, 但 0.3wt%的固溶度尚不能抵消低温时 $\text{Au}_x\text{Ni}_{(1-x)}\text{Sn}_4$ 再沉积的驱动力。

为抑制 $\text{Au}_x\text{Ni}_{(1-x)}\text{Sn}_4$ 相可将 Ni 或 Ag 添加到钎料基体中, 少量的 Ni 添加到钎料中, 可以避免 $\text{Au}_x\text{Ni}_{(1-x)}\text{Sn}_4$ 的再沉积。Ni 原子和 Sn 反应生成焊点内的 Ni_3Sn_4 颗粒, 使 $\text{Au}_x\text{Ni}_{(1-x)}\text{Sn}_4$ 减少。相似地, Cu 添加到钎料中也有效地抑制了再沉积并防止了 Au 脆。在钎料中存在 Cu 时, 界面金属间化合物的物相有所不同。以 Sn3.5Ag0.7Cu 钎料在 Ni/Au 涂层的界面金属间化合物为例, 生成 $(\text{Au}, \text{Ni})_2\text{Cu}_3\text{Sn}_5$ 四元金属间化合物, 而不是 Sn37Pb 钎料在 Ni/Au 上时的 Ni_3Sn_4 和 $(\text{Au}, \text{Ni})\text{Sn}_4$ 。在 155℃下老化 45 天后, Sn3.5Ag0.7Cu 在 Ni/Au 上的四元金属间化合物层只有 4μm, 而 Sn37Pb 在 Ni/Au 上的三元 $(\text{Au}, \text{Ni})\text{Sn}_4$ 金属间化合物层为 20μm。

在高温(>240℃)下对焊点进行再回流, 被证明能有效抑制在后续烘烤过程中钎料和焊盘界面处的 $\text{Au}_x\text{Ni}_{(1-x)}\text{Sn}_4$ 。高温再回流使 Ni 和 Cu 溶解到钎料基体中并包围 $\text{Au}_x\text{Ni}_{(1-x)}\text{Sn}_4$ 。

10.5 其他装联工艺失效及其可靠性

10.5.1 压接工艺

与传统的焊接式工艺不同, 压接式工艺的连接, 是将可弹性变形或实心的插针脚加压插入印制电路板的金属化孔形成的连接。对于可弹性变形的插针脚, 保持插针和通孔之间良好接触的力是插针的弹性变形力。对于实心的插针脚, 保持插针和通孔之间良好接触的力是通孔的弹性变形力, 如图 10.46 所示。

与焊接式工艺相比, 压接工艺的优点体现在:

- (1) PCB 上无热应力。
- (2) 没有影响可靠连接的焊剂残渣、锡珠、锡丝。

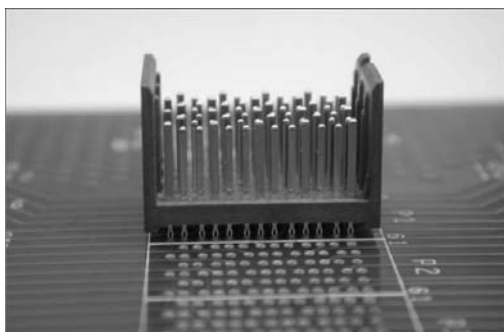


图 10.46 压接工艺图示

- (3) 没有焊接工艺中常见的虚焊、短路。
- (4) 连接器压接后，无须再用螺钉与 PCB 固定。
- (5) 使用长插针连接器压接时，PCB 背后伸出的针脚可作为背面插针，即同一长插针连接器可实现双面拔插。
- (6) 确定的接触阻抗，良好的高频性能。
- (7) 连接器可以高效率、低成本地压装在 PCB 上。
- (8) 整个连接器或单个针脚都很容易替换，方便各个针脚的合理使用，也具有良好的可维修性。
- (9) 采用压接工艺的 PCB 不需要清洗，节约成本，环保安全。

连接器与 PCB 之间的连接主要是靠连接器部分鱼眼孔的张力和 PCB 之间的接触进行连接的，如图 10.47 所示。

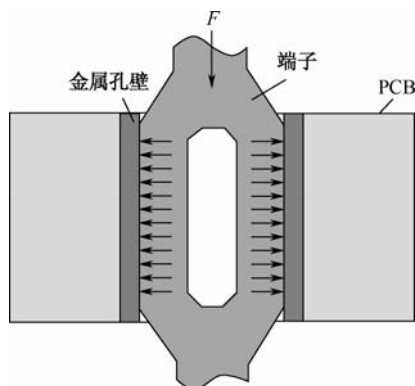


图 10.47 压接连接器接触连接

因此，其可靠性问题主要是鱼眼与 PCB 之间的接触不良。元器件厂家和 PCB 厂家的加工精度误差，导致鱼眼与 PCB 压接孔之间过盈量不符合要求。当过盈量过大时，在压接过程中鱼眼被折弯，没有形成良好的接触；当过盈量较小时，鱼眼的变形小，张力小，导致与 PCB 的接触不良。

10.5.2 螺装工艺

螺钉安装简称为螺装，是指采用螺纹方式连接紧固，是通过正确的电批头，将电批的电



动扭力准确有效地传递到螺钉紧固件上，并施加合适的下压力，保证批头与螺钉紧密接触，不松脱，垂直将螺钉锁紧到位，并保持一定的锁紧力，如图 10.48 所示。

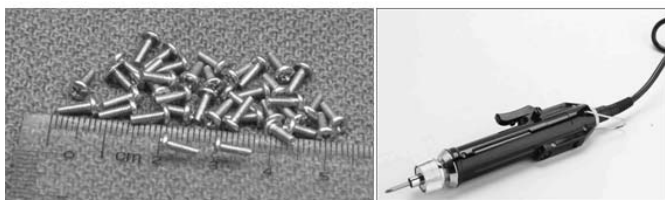


图 10.48 螺钉与电批

螺装工艺常见的失效问题介绍如下。

1. 螺柱爆裂

装配时螺钉与螺钉柱过盈配合，原因则有很多，例如螺钉外径尺寸过大、螺柱内径尺寸偏小、螺柱壁厚太薄、螺柱成型不良或需装配侧与螺孔对位不准、没有垂直对准等。如图 10.49 所示为力矩过大导致螺柱爆裂的情况。

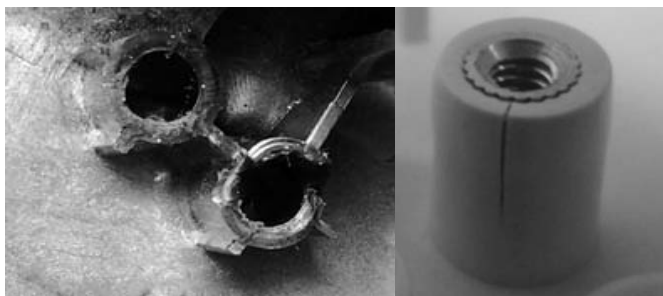


图 10.49 螺柱爆裂

2. 螺钉歪斜

在螺钉装配过程中，螺钉没有垂直，或者批头晃动，造成螺钉歪斜，如图 10.50 所示。螺钉歪斜必然会导致螺钉安装未到位，锁紧力没有达到预定的要求。



图 10.50 螺钉歪斜

3. 螺钉头部十字槽口被损坏

扭矩过小，电批安装时间长，批头晃动，或者是批头不匹配等原因，导致批头打滑造成螺钉头部的十字槽口损坏，如图 10.51 所示。

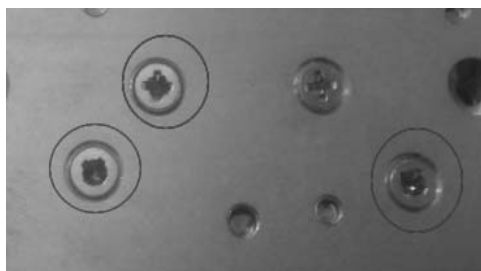


图 10.51 螺钉头部十字槽口被损坏

4. 打滑丝

螺钉锁到位，但会随批头旋转，未紧密咬合对象称为打滑丝，如图 10.52 所示。扭矩太大，锁到位后被强拧滑丝，锁位后未及时松手，时间过长、螺钉外径太小、咬牙太浅等因素是造成螺钉打滑丝的主要原因。



图 10.52 打滑丝

10.5.3 分板工艺

分板有时又称为切板，简单地说就是将 PCB 边上不用的工艺边去掉或是把多拼板的各小板分开。常见的分板工艺主要有手工分板、剪切分板和铣板。针对 PCB 不同的拼板连接方式，采用不同的分板工艺。常见的拼板连接方式主要有 V 形槽连接、连接桥连接和邮票孔连接 3 种，如图 10.53~图 10.55 所示。

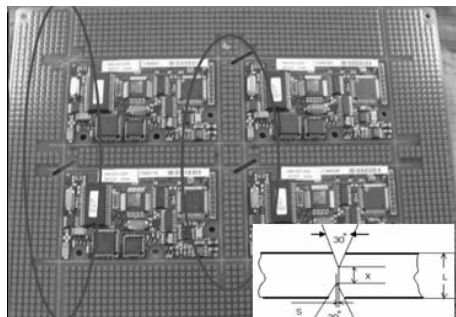


图 10.53 V 形槽连接设计

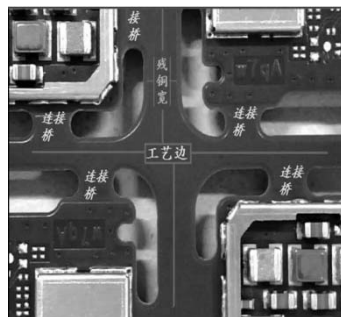


图 10.54 连接桥连接设计

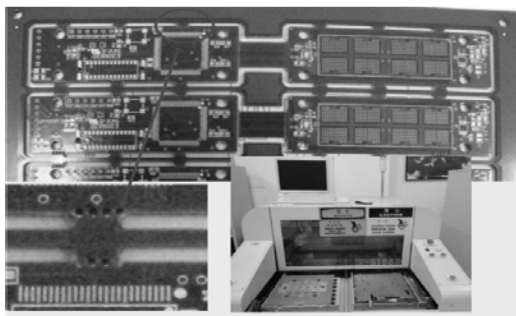


图 10.55 邮票孔设计

无论是哪一种分板工艺，都会引入应力的问题。因此，有应力的存在就会有可靠性问题的风险。分板工艺常见的问题有：

- (1) 手动分板时操作不当，分板过程应力过大，导致应力敏感器件损伤。
- (2) 铣板过程的灰尘污染连接器，导致接触不良。
- (3) V-CUT 分板留下的毛刺，影响单板的安装精度和外观。
- (4) V-CUT 操作不当，导致切偏，影响周边应力敏感器件。

10.5.4 三防涂覆工艺

三防是指防潮、防霉变、防盐雾，这是原来的含义。现在的含义是：凡是由大气环境或设备平台环境而引起的所有腐蚀都属于“三防”的范畴，包括防潮、防霉变、防盐雾、防腐蚀性气体和紫外线等。三防涂覆是将专用设备或工具，用特定的工艺将三防漆覆盖并黏结固化在 PCBA 和元器件表面上的方法，对 PCBA 和元器件起到防护作用。三防涂覆工艺常见的实效现象如下。

1. 防护失效

防护失效是指在 PCBA 三防保护的情况下仍然发生了腐蚀问题，比如发生了化学腐蚀、电迁移或者其他形式的腐蚀等，如图 10.56 和图 10.57 所示。

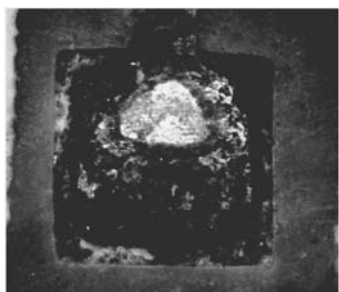


图 10.56 焊盘腐蚀

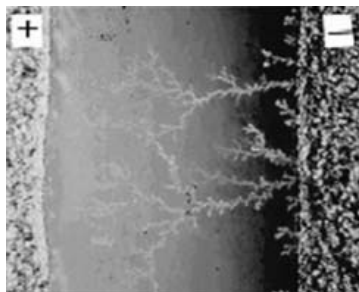


图 10.57 电迁移

三防防护失效的原因是潮气、腐蚀性的离子，比如氯离子等进入设备内部后穿透 PCBA 三防防护层和阻焊膜对焊盘、线路或者器件端子形成腐蚀。三防防护之所以会失效，是因为三防涂层是一层薄的高分子材料，具有一定的吸潮性和渗透性，水分子和腐蚀性离子可以在



压力差的驱动下渗透到保护层的底部进而在不同的条件下形成各种形式的腐蚀，腐蚀的结果可以是短路，也可以是断路，最终到达设备使功能丧失。

2. 保护层失效

保护层失效是指三防保护层本身发生了失效，比如发白、剥离、开裂、脱落等现象，如图 10.58 所示，三防层发生失效时可能还没发生腐蚀，也可能已经发生了腐蚀，但最终都会发生腐蚀，可看作是防护失效的一个原因。

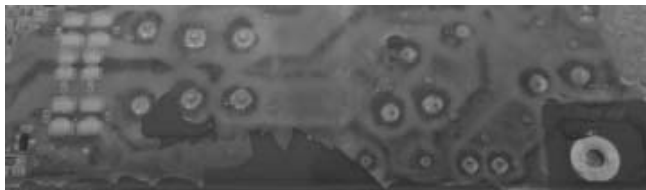


图 10.58 三防保护层失效

三防保护层本身失效的原因有三个：一是保护层本身性能缺陷导致，比如材料本身性能不足，施工工艺错误；二是先发生了保护失效，底部金属腐蚀导致了涂层的失效，特别是电迁移的负极极易发生涂层脱落的情况；三是环境过于恶劣导致涂层失效。






思考题 10

- (1) 失效分析的思路是什么？有哪些常用手段？
- (2) 你知道哪些焊接缺陷？它们是什么原因导致的？有何改善建议？
- (3) 焊点可靠性有哪些评估标准？如何评估焊点可靠性？
- (4) 对于焊接可靠性的提升，你认为有哪些影响因素？

第 11 章 电子装联工艺管理



本章要点

-  工艺管理概述
-  工序质量控制
-  工艺标准化
-  工艺执行与纪律
-  其他管理方法介绍



11.1 工艺管理概述

11.1.1 工艺管理定位

何谓工艺管理，它是一种贯穿产品计划、设计、制造和管理全过程的协同工作环境，旨在对产品制造过程中的各种工艺信息进行协调的统一管理。其基本任务是对各项工艺工作进行规划、计划、组织和控制，使之按一定的原则、程序和方法有效地开展，以保证产品质量、生产效率和成本在本企业可接受的范围之内。

在开发和实现产品的过程中，工艺管理的角色首先是为产品提供合适的制造方法，保证产品能够按用户要求顺利的制造出来；其次，生产出来的产品在质量、效率和加工成本上能具有一定的竞争力，这是企业盈利和获取客户信誉的重要基础。从质量控制的角度看，工艺是作为一种方法，是人、机、料、法、环和测等众多质量要素中最重要的一个。

11.1.2 工艺管理内涵

对于新的产品，快速制定出一套经济、可行并具备竞争力的工艺方法并非易事，往往需要系统的工艺策划、技术开发和管理协调工作。工艺管理工作的涉及面很广，对内要做好工艺技术研发和相关技术标准管理，对外要把相应的工艺要求能很好地落实到前端的产品研发和后端的产品生产环节，以使整个产品研发和生产以工艺要求为主线协调一致，保证单板的可制造性。从大的层面上讲，规范企业的工艺管理工作至少要覆盖以下几个方面的内容。

1. 综合性工艺管理

为提升工艺水平，支撑企业战略，每个年度一般都要编制工艺总体规划，规划内容包括工艺技术措施规划和工艺组织措施规划等。在工艺技术措施方面，根据本企业产品规划和行业趋势，制定相应的技术路线图。涉及新技术和新设备开发，以及现有技术瓶颈的攻关等。而工艺组织措施方面，主要是产品的工艺路线、生产布局优化和技术改造工作。除以上两个方面外，综合性管理还包括技术标准编制、发布和实施，以及同行情报信息的收集分析等。

2. 设计工艺管理

设计管理主要是围绕新产品在正式投产前的准备工作，目标是确保开发的产品的可制造性在本企业的加工能力范围内，保证产品能够高质、高效的生产出来。具体工作一般与产品研发工作并行，依次包括：工艺调研、产品工艺性审查、工艺方案编制、工艺路线审查、工艺文件编制、工艺试制定型等多个环节。各个部分应有详尽的管理方法和运作机制。



3. 现场工艺管理

产品投产后,保障工艺要求在现场工艺管理环节能得到有效的落实正是现场工艺管理的主要目的。为确保产品的制造质量,必须基于工艺路线,设定关键工序,配置工艺要求,并通过培训和监督等措施相关技术要求能得到切实执行。

工艺管理涉及面广,不同环节都有不同分工,并有相应的关注点。对于即将或已经投入一线工作的人员而言,则需要了解和掌握现场工艺管理方面的知识和要求,以更好地服务于制造过程的产品质量管控。所以,本章主要针对现场工艺管理方面的内容进行详细讲解,希望对大家今后的工作开展有所帮助。

11.2 工序质量控制

11.2.1 工序定义

工序是指产品的加工工序,在该环节产品发生物理或化学的变化,我们通常把完成一个独立单元或功能的环节称为工序。整个生产现场的活动都围绕产品加工路线也即工艺路线,而工艺路线正是由各个工序按一定的顺序组合而成,各工序活动的结果好坏直接决定着产品的质量高低。所以,工序管理是现场管理工艺管理工作的核心部分。

11.2.2 关键工序

关键工序是指工艺路线中对产品质量起决定性作用的工序,它是主要质量特性形成的工序,也是生产过程中需要严密控制的工序。例如,在 SMT 工艺路线中,关键工序有三个:锡膏印刷、元器件贴放和再流焊焊接。根据行业统计数据,印锡、贴片和焊接三个环节引起的焊接问题占据总焊接不良的 80% 以上。这些质量数据正反映了关键工序控制对整个单板焊接质量的重要性。

为了保障工序质量,需要对各工序设定质量控制点,控制点的对象可以是单板的某项特性,如印锡质量、贴片质量和焊接质量等结果指标,也可以是某道工序的关键特性,如再流焊工序的焊接温度、链速和风力等工艺参数。如图 11.1 所示,列出了 SMT 的关键工序和质量控制点,以供大家更好地理解。

关于工序质量控制点的设置,一般要遵守三条原则:一是对单板性能、质量和可靠性有直接影响的项目;二是在加工工艺上有特殊要求,且对下道工序有重大影响的项目;三是在单板加工缺陷中占据较大比例的项目。

在确定质量控制点后,接下来需编制控制点明细表,绘制工序控制点流程图,标明控制点的相关要求、检验方式和测量工具等。由质量或工艺组织相关人员进行工序分析,找出质量控制点的主要影响因素,并根据分析结果,编制工序检查表,针对各主导因素规定出明确



的控制范围。最后，根据各企业的具体情况编制质量控制点的作业指导书、工装设备点检卡，以及配套的质量控制点管理办法和相关管理制度。

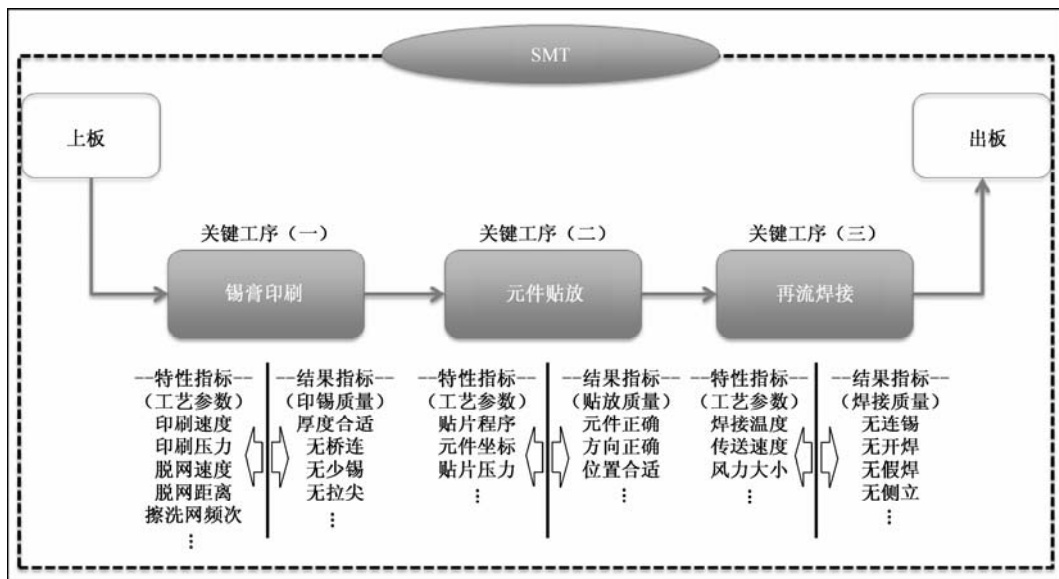


图 11.1 SMT 的关键工序和质量控制点

11.2.3 工序管理

工序管理的目的是根据各工序的工艺指导文件，组织和利用设备、材料、工具等相关资源合理地进行生产，确保达成质量要求能圆满达成。

工序管理的基本要求是对相关要素进行全过程控制，基本思路：首先要根据产品要求，合理选用人员、材料、设备、工具等相关资源，生产准备要充分；其次，严格工艺纪律，确保相关工艺要求能执行到位，可参照“三定”（定人、定岗、定设备）和“三按”（按标准、按图纸、按工艺）的要求进行保障；再次，对操作规程的执行情况，要适时自检、互检或专检，检查操作方法和结果是否正确，以尽早发现异常，为防止不良扩大，以备后续改进；最后，要针对异常进行分析并制定相应对策。发现不良后，不仅要工序异常产品进行处理，同时还要分析异常原因，以便采取措施防止不良的重复发生。通常关注的内容有：

- (1) 现场使用的技术文件必须是现行有效，并要做到正确、完整、统一、清晰、文实相符。
- (2) 所用器材、元器件必须具有合格证明文件或标志，代用器材、元器件必须有相关审批文件。
- (3) 设备、工装、计量器具等必须符合工艺要求，并具有合格证书或合格标志。
- (4) 操作、检验人员必须熟悉和掌握工序的技术要求，具备岗位资质要求，并严格遵守工艺纪律。
- (5) 工作场地的环境条件、产品存放、周转、运输等控制都应符合技术文件要求和有关规章制度及标准的规定。

概括来说，以上关注要点不外乎人、机、料、法、环和测等六个方面。在这些因素当中，



“人”是相对最活跃的也是最重要的一个：其他因素都由人来创造和维持，同时制定的方法还需要“人”去遵守。所以，在工序管理中，要做到有法可依和有法必依更为重要。在下面的章节中，将着重就方法（工艺标准）和执行（纪律）方面的相关知识进行详细介绍。

11.3 工艺标准化

标准化是工艺管理的基本要求，其目的不仅为保证单板加工质量，同时促进生产效率提升并降低成本。工艺标准化的要求体现在多个方面。

11.3.1 标准化内容

1. 术语

术语就是工艺语言，这些语言是工艺标准、文件制定和指导生产等工作中经常使用的基本信息和共同语言。电子装联工艺术语举例：单点工艺如再流焊焊接、波峰焊焊接、压接、螺装等，工艺状态如新工艺、现行工艺、落后工艺，还有新工艺研究中常碰到的预研、可行性研究、工艺导入状态区分等。工艺语言的标准化和统一化对工艺工作是极为重要的，可以避免因对同一事物或现象的不同理解而引起的不必要的工作困扰。

2. 构成要素

构成要素是工艺方法顺利实施的重要因素。例如，再流焊焊接工序的温度、时间和升降温速率，这些要素在温度曲线不同部分都应有一定的范围要求，板上所有器件的焊接参数必须符合要素的标准化要求。

3. 典型工艺

在电子组装中，尽管每个单板组件特征不同，都有自己的工艺流程和加工工序，但总有相同或相似的工序，也即但部分板子共用的或典型的工艺。对于这些典型工艺，为提高组装质量和生产效率，结合企业情况规定通用的工艺要求，对该工艺作业规范化和标准化是十分必要的。一般以工艺规程或通用工艺规范进行命名。

4. 工艺文件

工艺文件承载着各种产品操作活动的“法令”，是所有工艺管理要求的书面体现，故文件的正确性、完整性和规范性显得极为重要。标准化工作的重点是对工艺文件的类别、格式和内容等方面的编制设定相应规则，有助于文件的统一和规范。工艺文件目录树、工艺文件模板，以及标准化审核等都是工艺文件标准化工作内容。



11.3.2 工艺文件编制

工艺文件规定和描述了在单板设计和制造工程中所有的工艺操作和管理要求。在生产环节,单板工艺文件贯穿于生产准备、单板生产和半成品输出的整个过程,尽管所用文件数量庞大,但其种类不外乎于以下几种。

1. 工艺规程

如 11.3.1 节所述,工艺规程侧重于各类单板工艺路线中通用的某个工艺过程,是用于指导编写某类工艺文件的指导性技术文件,如企业标准或行业标准。

2. 工艺过程卡

工艺过程卡主要描述单板的加工工艺路线,规定各个工序顺序,用于指导生产安排和资源调度。

3. 工艺卡

工艺卡主要描述单板在某一工艺阶段(如 SMT)的相关工艺要求,规定本阶段各道工序所涉及的工艺技术、设备和工装和工艺参数及具体操作要求。

4. 工序卡

工序卡主要规定某一工序的具体工艺要求,包括操作、技术要求和注意事项等。工序卡也称工艺指导卡或作业指导书,常通过图文结合的方式,以精炼和简单易懂的方式指导生产操作。

工艺文件是指导单板生产和资源统筹的依据,编写的基本要求是描述正确、完整和清晰,在内容上不仅满足产品工艺设计要求,也要确保工艺过程的合理性。工艺文件编写是个非常严谨的工作,一般要有严格的编写和审批流程。在接到需求后,由工艺部门承担文件编写的主导工作,生产、质量和设备等其他部门的人员参与会签,最后由工艺技术主管批准后方可实施。

11.3.3 工艺文件控制

工艺文件控制的目的是保证在用文件的唯一性、时效性和统一性,避免过时文件或多个版本文件存在而误导生产作业,引起不必要的损失。工艺文件管控的内容应该覆盖从制定直至报废或被替代的整个生命周期。

1. 文件新建

文件新建需求一般来源于新开发产品、新的工艺引入或现有工艺指导文件中遗漏需要补



充要求等地方。文件制定可由生产、设备、研发、质量或工艺人员自身等发起。工艺部门在接到需求后,首先要组织需求评审,评估需求的合理性和可行性,然后安排人力开展文件制定的需求分析、前期调研和文档拟定等相关工作。完成文件初稿后,接下来需企业相关文件制定管控要求进行会签、审核及审批工作。为提升效率,可将文件按其覆盖范围或重要性进行分类,以最短的时间做好发布前的准备工作,做好高效生产的第一步。另外,为保证前后一致性和唯一性,文件封面后须记录相关的新建、修订或废止等相关信息,所有在文件格式和内容描述上必须符合标准化要求。

2. 文件发布

根据企业具体情况,文件可通过电子流或书面进行发布,公示新文件将从某年某月某日在相关业务范围内正式启用,宣布文件的有效性。

3. 文件归档

审批通过和文档齐套性是文件归档的前提。在文件拟定过程中,会产生需求说明、文件评审等相关过程信息记录,为便于后期使用和维护,这些过程文档需连同新文件一并归档。

4. 文件存放

在文件以书面方式下发后,使用部门需对文件进行规范的存放管理,可制定相应存放规则,对文件按使用场地差异、有效性状态进行分类,以便于检索、使用和维护为原则。

5. 文件变更

因产品升级或技术更新,文件变更或升级在文件控制工作无法避免,甚至在某些特定行业中成为一种常态。如何取利去弊,评估和减少变更而带来的影响是文件变更中务必要考虑的事情。在对文件变更前,一般要对变更影响进行专门分析,系统评估变更可能带来的影响,对于不利影响如何进行规避,是否涉及其他相关文件的协同变更等,最终形成变更影响分析报告,作为文件重新发布后进行归档的主要文档之一。

为简化变更管理工作,也可根据变更情况将文件分类处理。例如,对于临时变更,可由需求部门提出申请,在工艺人员审核后直接进行变更处理。而对于永久性变更,则须严格执行按上述要求进行变更评估,并完成会签、审批和发布后方可发放使用。

6. 文件废止

文件废止一般是发生在产品停产或工艺淘汰等情况下,现行文件已无存在的价值,需要做失效和回收处理。但文件废止也是非常谨慎的,与文件变更一样,同样要进行需求分析、废止评估等相关工作。



11.4 工艺执行与纪律

工艺纪律管控的直接目的是保证现行工艺要求在单板生产中能做到及时、有效地落实。维护工艺的严肃性对建立稳定生产秩序，保证产品质量具有重要的意义。

11.4.1 工艺纪律要求

工艺纪律涉及范围也比较广，这里主要谈谈对生产线操作者的要求。操作者是工艺要求的执行者，所以操作者的工艺纪律是一项非常重要的内容。具体要求有：

- (1) 对于单板生产的关键工序，须实行“三定”，定人、定岗和定设备。
- (2) 操作者的资质要求须符合工艺规定，需要持证上岗，确保技能上满足相关要求。
- (3) 操作者须熟悉相应工序或岗位的工艺文件要求。
- (4) 做好产前准备工作，集中精力投入生产，不得擅自离岗。

11.4.2 监督与考核

为保障工艺得到有效执行，企业有必要建立工艺监督制度。首先在产线内部建立“四检”机制：首检、自检、互检和放行检查。工艺或质量部门建立专职巡检，记录每日纪律巡查情况，并公布巡查结果，反馈到生产部门。

$$\text{工艺执行率} = \frac{\text{实际执行条目数}}{\text{应执行的总条目数}} \times 100\%$$

作为工艺监督的配套措施，工艺纪律考核是不可或缺的。考核对象为一线操作员工、生产班组的大小组长和车间主任。完善的工艺管理制度首先要与操作岗位责任制相结合，做到事事有章可依，有助于工艺纪律检查结果能与被考核部门和人员挂钩，做到奖惩分明。纪律考核是改善工艺违纪情况的主要手段之一，在出现违纪情况后，还需要对违纪的根源作进一步分析。造成操作人员违纪的原因有以下两种情况：一是操作人员技能不足，没有掌握工艺文件的相关要求，而造成违纪；二是技能没有问题，可能是无意违反操作要求，例如工作疲劳等因素，或者对工作不满而有意为之。这些原因可能折射更深层面的人员或管理问题，在纠正违规操作时，需根据具体情况做对应处理。

11.5 其他管理方法介绍

上面几节所讲内容主要是在产品生产过程中要做合适的事而且要做对事，本节则简要介绍如何少犯错误并提升现场工作效率，也即生产现场管理方法。围绕生产现场管理，目前已有许多优秀的成套方法，并在给众多企业带来很好的生产效益，包括定置管理、5S、防静电、目视等等。因篇幅限制，这里仅对定置和目视管理的要点做些讲解。



11.5.1 定置管理

定置管理起源于日本,由企业管理专家清水千里于 1982 年在定置管理概念提出人青木龟男的基础上总结和提炼的一种现场管理办法。定置管理的对象是生产现场的人、物和场,通过研究三者关系来促进其有效结合,达到高效、优质和安全生产的目的。

定置管理理论在人、物和场的关系上有一些基本要点。

要点 1——人与物的结合:将人与物结合状态分为 A、B 和 C 三种,A 状态为人与物处于能够立即结合并发挥效能,B 状态为人与物处于寻找或尚不能很好发挥效能,而 C 状态为人与物失去联系,定置管理原则是通过相应策划和改进,消除 C 状态,对 B 状态改进使之达到 A 状态。举例而言,生产线生产一块单板,加工该单板所需要的材料或工装必须要放在操作者身旁,而且最好是能随手拿到。一定要杜绝不相关的工装出现在现场而需要的东西却找不到。处理好人与物的关系,有助于降低因人物结合不好而造成的额外加工成本。

要点 2——物与场的结合:合理的物与场结合是人与物有效结合的基础,将对象物品按生产需求和人体工程学原则科学布放在特定位置上,有助于缩短人取物的时间,消除人的无效动作。场所布置也分为 A、B 和 C 三种状态,A 状态为场所具有良好工作环境,符合人的生理、生产和安全要求;B 状态是需要改进的状态,通过不断改进可完全符合要求;而 C 状态则是不能满足要求,需要彻底改造。除了上述两个要点外,信息媒介和定置的关系也很重要。信息媒介是在人与物、物与场结合过程中,起到指导、控制、确认等作用。由于生产中需要的物品种类繁多,很难保证都放在操作者身边,需要有信息去指引获取。定置信息分为引导信息和确认信息两种。引导信息是告诉人们物在何处,例如仓库台账、平面布置图等,确认信息是物品与存放区域所对应标识信息,例如区域标识、物品状态标识等。

在定置管理中,必须重视和健全各种信息媒介物,包括场所标识清晰、场所设有定置图、位置台账齐全、存放物编号序号齐全、信息标准化,等等。关于定置管理的实施,一般可分如下几个步骤进行。

1. 工艺方法研究

对生产现场在用工艺方法、流程和设备进行研究,分析并确认工艺技术的先进性和合理性,确定产品的工艺路线和搬运路线。工艺方法研究是一个提出问题、分析问题和解决问题的过程。

2. 人、物结合状态分析

人与物结合状态分析是开展定置管理的最关键的一环。在生产现场,人与物结合有两种形式,即直接结合和间接结合。直接结合指需要东西可以随手拿到,不需要花费时间专门寻找。间接结合是指人与物呈分离状态,实现结合则需通过信息媒介做指引。

3. 信息流分析

达到人与物的良好结合,需要四个信息媒介物支持。第一个信息媒介物为位置台账,主



要表明物在何处；第二个信息媒介物为平面布置图，表明该处在哪里；第三个信息媒介物是场所标识，表明这儿就是该处，通常用名称、图示和编号等表示。第四个信息媒介物是现货标识，表明此物即为寻找的物体，一般用各种标牌表示。在寻找物体时，先通过第一、二个媒介物，找到目的场所，然后再通过第三、四个媒介物确认需要结合的物品。

4. 定置设计

定置管理设计就是针对各种场所和物品进行科学定置的统筹安排，包括定置图设计和信息媒介物设计。定置图设计是对现在所在物定置，并通过调整物品来改善人与物、人与场、物与场的相互关系的综合反映图。种类有室外区域定置图、车间定置图、作业区定置图，还有仓库、资料室、工具室等定置图。定置图绘制原则有：现场中的所有物均应绘制在图上，绘制时以简明、扼要和完整为原则，物形为大概轮廓，尺寸按比例，相对位置要准确，区域划分要鲜明。定置物可用标准信息符号或自定信息，符号有标注。定置图应按定置关系变化及时进行修订。媒介物设计包括信息符号、示板图和标牌设计，这些标识设计方便工艺方法研究、物品摆放和场所划分应用为原则。信息符合可以结合企业情况自行设计，也可参照相关国家标准。定置式板图示现场定置情况的综合信息标志。标牌是指示定置物所处状态、标志区域和指示定置类型的标志。各种场所都应悬挂示板图和标牌。

5. 定置实施

定置实施阶段为定置管理的重点，将定置方案付诸实施。操作上可分为三个步骤：清除与生产无关之物；按定置图实施物品定置，定置物要与图相符，位置正确，摆放整齐；放置标准信息名牌，要做到牌、物、图相符，设专人管理，不得随意挪动。

6. 定置监督

定置管理需要持之以恒，这样才能巩固定置成果。为此，必须建立定置管理的检查和考核制度及相应奖惩条例。定置管理的检查与考核一般分为两种情况：一是定置后的验收检查，检查不合格的不予通过，必须重新定置，直到合格为止。二是定期对定置管理进行检查与考核。

定置考核的基本指标是定置率，它表明生产现场中必须定置的物品已经实现定置的程度。其计算公式是：

$$\text{定置率} = \frac{\text{实际定置的物品个数（种数）}}{\text{定置图规定的定置物品个数（种数）}} \times 100\%$$

11.5.2 目视管理

目视管理主要以视觉信号为基本手段，通过利用形象直观的视觉感知信息组织生产活动，来达到提高生产效率目的的一种管理方式，也因此被称为看得见的管理。按目视管理理念，要尽可能地将管理者的要求和意图让大家都看得见，以推动员工的自主管理和自我控制，是一种符合大生产要求和人生理及心理需求的管理方式，在提高工作效率、提高员工工作积



极性等方面有许多优点。

目视管理以生产现场的人-机系统及其环境为管理对象,并贯穿于这一系统的输入、作业和输出等各个环节。

(1) 规章制度与工作标准的公开化。为了维护统一的组织和严格的纪律,保持生产所要求的连续性、比例性和节奏性,凡是与现场人员紧密相关的规章制度和标准,都必须公布于众;与岗位直接有关的,应将相应要求展示在对应岗位上。

(2) 生产任务完成进度的图表化和公开化。凡是需要共同完成的任务都应公布于生产现场。任务计划要层层分解,落实到车间、班组和个人,并列表张贴在墙上公示;对于任务的实际进展情况也需按期公布,以促使生产班组和个人都能按质、按量、按期地完成相应任务。

(3) 视觉信息定置落实情况的清晰化、标准化。各类物品都需有完整准确度信息标识,包括定置管理部分提到的标志线、标志牌和颜色等要求,以消除物品混放和误放情况的发生。这里也体现了目视管理与定置管理两种管理办法自成一体,相辅相成。

(4) 作业控制手段的信息化和直观化。为保证生产保质保量的顺畅进行,各环节间的生产信息的快速有效传递极为重要。采用何种方式高效传递这信息,避免不良品积压和产能过剩是作业控制手段设计时要考虑的关键问题。例如,看板就是一种有效的信息传导手段,可以直观的为前后工序传递本环节的即时生产信息。再如,机器上配置红黄绿灯表示设备所处的运行状态,以便巡检人员的及时发现和维修。

(5) 物品的码放和周转标准化。统一和规范现场物品码放和周转,可以充分发挥目视管理的长处,有助于提升操作、搬运和点检人员的工作效率和质量。例如,各种物品、各类工位器具,均应按规定的标准数量盛装。

(6) 现场人员着装的统一化与实行挂牌制度。着装不仅起劳动保护的作用,在机器生产条件下,也可作为企业内不同部门、工种和职务之间的身份标志,使人产生归属感、荣誉感、责任心等,为生产组织创造一定的方便条件。挂牌制度包括单位和个人,根据评比制度将考评结果以形象、直观的方式给单位或个人挂牌,激发良性竞争,不断提升绩效。个人挂牌用的更多的是佩戴胸章、胸标、臂章等标志物。

色彩管理的标准化。色彩是常用的一种视觉信号,必须科学、合理、巧妙地运用色彩,并实现统一的标准化。因色彩已成为人们生活的一部分,故在色彩运用中,不仅要符合目视管理要求,还要考虑其受其他因素的制约。例如,红色穿透力强,颜色鲜明,按传统习俗,通常作危险信号,因而在应用中不宜再作为安全性等方面的其他标识。颜色应用还要考虑生理、心理以及社会方面的其他因素,如不同国家、地区和民族都有自身的颜色偏好,不同颜色因地域或民族不同而代表不同含义,甚至刚好相反。

推行目视管理,一定要从企业实际出发,有重点、有计划地逐步展开,应做到统一、简约、鲜明、实用、严格,避免搞形式主义。统一即要实行标准化,消除五花八门的杂乱现象;简约即视觉显示信号应一目了然;鲜明即视觉显示信号要清晰,现场人员都能看得见、看得清;实用即讲究实效;严格即现场所有人员都必须严格遵守有关规定,有错必纠,赏罚分明。



思考题 11

- (1) 何谓关键工序？设置质量控制点的原则有哪些？
- (2) 工序管理的基本思路是什么？有哪些要关注的内容？
- (3) 工艺文件有哪些类型？各自的用途是什么？
- (4) 工艺纪律有哪些具体要求？

参 考 资 料

- [1] IPC/EIA J-STD-001. 电气、电子组件焊接技术要求.
- [2] IPC/EIA J-STD-002. 元器件引线、焊端、接线片及导线的可焊性测试.
- [3] IPC/EIA J-STD-003. 印制板可焊性测试方法.
- [4] IPC/EIA J-STD-004. 焊接用助焊剂要求.
- [5] IPC/EIA J-STD-005. 焊膏技术要求.
- [6] IPC/EIA J-STD-006. 电子级固态焊料技术要求.
- [7] IPC-A-610. 电子组装件的验收条件.
- [8] IPC-A-600G. 印制板的验收条件.
- [9] J-STD-020. 塑封表面器件对潮湿和再流焊的敏感度分级.
- [10] J-STD-033. 湿度敏感表面贴装无器件的处理、包装、运输及使用标准.
- [11] IPC-T-50. 电子电路互连及封装术语和定义.
- [12] IPC-9191. SPC 实施通则.
- [13] IPC-L-125. 高速/高频塑性基板特性规范.
- [14] IPC-BP-421. 带压接连接器的刚性印制背板通用技术规范.
- [15] IPC-DW-426. 分立线路组装技术规范.
- [16] IPC-TR-460. 印制板波峰焊故障检查表.
- [17] IPC-BP-421. 带压接连接器的刚性印制背板通用技术规范.
- [18] IPC-TR-464. 可焊性的加速老化评估.
- [19] IPC-TR-465-1. 恒温蒸汽老化的联合测试报告.
- [20] IPC-TR-465-2. 蒸汽老化时间和温度对可焊性测试结果的影响.
- [21] IPC-TR-465-3. 对不同处理剂的蒸汽老化评估, Phase IIA.
- [22] IPC-QE-615. 组装质量评定手册.
- [23] IPC-TM-650. 试验方法手册.
- [24] IPC-TA-724. 净化间技术评估.
- [25] IPC-CM-770. 印制板元器件安装.
- [26] IPC-SM-785. 表面组装焊接可靠性加速试验指南.
- [27] IPC-MC-790. 多芯片模块技术应用指南.
- [28] IPC-AJ-820. 组装和连接手册.
- [29] IPC-CA-821. 热导胶黏剂通用技术要求.
- [30] IPC-SM-840. 印制板阻焊膜的鉴定和性能.
- [31] IPC-2221. 印制板设计通用标准.
- [32] IPC-2222. 刚性有机印制板设计标准.
- [33] IPC-2223. 柔性印制板设计标准.
- [34] IPC-3406. 表面组装导电胶导则.
- [35] IPC-3408. 各向异性导电胶粘剂通用技术要求.



- [36] IPC-7711. 电子组件的返修.
- [37] IPC-7721. 印制板和电子组件的修理和调整.
- [38] IPC-9503. 非 IC 元器件的潮湿敏感度等级.
- [39] IPC-9701. 表面组装焊点的可靠性试验方法和质量评估要求.
- [40] IPC-4552. 印制电路板化学镀镍/浸金 (ENIG) 镀层的技术条件.
- [41] IPC-0040. 光电子装配与封装技术.
- [42] IPC-T-50G. 电子电路互连及封装术语和定义.
- [43] IPC-6013A. 柔性印制板的鉴定与性能规范.
- [44] IPC-7912A. PCBA 组装过程中的 DPMO 计算与过程警示.
- [45] IPC-1066. 在无铅组装件、元器件和器件中识别无铅和其他公告材料的标记、符号和标签.
- [46] IPC-7351. 表面安装器件和焊盘图形标准通用要求.
- [47] IPC-7095. BGAs 设计和组装过程的实施.
- [48] IEC/TS 61340-5-1. 电子元器件的静电防护-通用要求.
- [49] IEC/TS 61340-5-2. 电子元器件的静电防护-用户指南.
- [50] IEC 61191.1. 印制板组装件.第 1 部分 通用规范.
- [51] IEC 61191.2. 印制板组装件.第 2 部分 表面安装焊接组装要求.
- [52] IEC 61191.3. 印制板组装件.第 3 部分 通孔安装焊接组装要求.
- [53] IEC 326.3. 印制板设计和使用.
- [54] IEC 603262. 印制板第 2 部分试验方法.
- [55] IEC 60068220. 环境试验第 220 部分 试验 T: 锡焊.
- [56] ASTM B-32-83. 回收利用材料中的允许污染水平.
- [57] MIL-P-11268. 电子通信设备中使用的元器件、材料及工艺过程.
- [58] MIL-S-45743E. 电气和电子设备高可靠手工软钎焊.
- [59] MIL-STD-454. 电子设备的通用标准要求.
- [60] MIL-P-20889B. 印制板组装件总规范.
- [61] EIA-471. 静电敏感元器件标识符号.
- [62] JESD22-A104-B. 温度循环.
- [63] ESD22-B117. BGA 焊球剪切.
- [64] ITRI PUB # 580. 锡和锡合金的显微照片.
- [65] ITRI PUB # 708. 电子设备焊点的冶金学.
- [66] GB9491—88. 锡焊用液态焊剂 (松香基).
- [67] GB 3375—82. 焊接名词术语.
- [68] GB 4677.22—88. 印制板表面离子污染测试方法.
- [69] GB/T4588.3. 印制电路板设计和使用.
- [70] GB/T 4677—2002. 印制板测试方法.
- [71] GB/T 11279—1989. 电子元器件环境试验使用导则.
- [72] GB/T 5080.1—1986. 设备可靠性试验总要求.
- [73] GB/T 2423 系列. 电工、电子产品基本环境试验规程.
- [74] GB/T 2943—1994. 胶黏剂术语.



- [75] GB/T 2794—1995. 胶黏剂黏度的测定.
- [76] GB 7124—86. 胶黏剂拉伸剪切强度测定方法（金属对金属）.
- [77] GJB3243—98. 电子元器件表面安装要求.
- [78] GJB2647—96. 压接端子和接头总规范.
- [79] GJB20671—98. 压接连接技术要求.
- [80] SJ/T10533—99. 电子设备制造防静电技术要求.
- [81] SJ 20632—97. 印制板组装件总规范.
- [82] SJ/T10670—95. 表面组装用技术要求.
- [83] SJ/T 10668—1995. 表面组装技术术语.
- [84] QJ165A—95. 航天电子电气产品安装通用技术要求.
- [85] QJ603—92. 电缆组装件制作通用技术要求.
- [86] QJ1722—89. 线扎制作工艺细则.
- [87] QJ2711—95. 静电放电敏感器件安装要求.
- [88] QJ3136—2001. 射频同轴电缆组件的制备、装配和安装.
- [89] QJ2465—93. 片状电阻器、电容器手工表面装联工艺技术要求.
- [90] QJ3012—98. 航天电子电气产的元器件通孔安装技术要求.
- [91] QJ4721.1~18—89. 压接端子和接头.
- [92] QJ1746—89. 压接端子和接头总技术要求.
- [93] QJ/Z155—85. 绕接工艺细则.
- [94] QJ/Z158—85. 汽相清洗工艺细.
- [95] IPC-9701. 表面贴装锡焊件性能测试方法与鉴定要求.
- [96] GB/T 2423.22—2012. 环境试验 第2部分 试验方法 试验 N: 温度变化.
- [97] GB/T 2423.10—2008. 电工电子产品环境试验 第2部分 试验方法 试验 Fc: 振动（正弦）.
- [98] GB/T 2423.56—2006. 电工电子产品环境试验 第2部分 试验方法试验 Fh: 宽带随机振动（数字控制）和导则.
- [99] JESD22-B104-C. 元器件机械冲击.
- [100] JESD22-B110. 组件机械冲击.
- [101] JESD22-B111. 手持电子产品元器件板级跌落测试.
- [102] IPC/JEDEC 9702. 板极互连的单向弯曲特性描述.
- [103] GB/T 24737-2012. 工艺管理导则.
- [104] 樊融融. 现代电子装联工艺可靠性. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [105] 松井顺一. 丰田可视化管理方式. 北京: 东方出版社, 2007.
- [106] 青木龟男. 定置管理 9245. 北京: 科学普及出版社, 1990.
- [107] IPC/EIA J-STD-004. 焊接用助焊剂要求.
- [108] IPC/EIA J-STD-006. 电子级固态焊料技术要求.

参 考 文 献

- [1] 端木时夏. 仪器制造工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- [2] 中国航天科工集团二院. 航天电子装联实用工艺技术.
- [3] 周旭. 电子设备结构与工艺. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- [4] В В 科希洛夫. 装配工艺学原理与自动装配设备. 北京: 中国农业机械出版社, 1988.
- [5] К П 波利亚科夫. 电子结备的结构设计. 北京: 科学出版社, 1986.
- [6] 周瑞山, 薛树满, 等. SMT 工艺材料 四川省电子学会 SMT 专委会, 1999.
- [7] 美国波音公司. 电子工艺标准手册. 航天工艺编辑部, 1984 (9).
- [8] 天津市工艺管理协会. 实用工艺管理学. 天津: 天津科学技术出版社, 1989.
- [9] NPO サ-キットネットワーク. プリント板と実装技術. 日刊工業新聞, 2005.
- [10] 末次 憲一郎. 鉛フリー-はんだ付け技術. 工業調査会, 2003.11.
- [11] 大澤 直. はんだ付の基礎と応用. 工業調査会, 2000.06.
- [12] 荒木庸夫. 電子機器設計. 日刊工業新聞社, 昭和 45 (1).
- [13] 田中和吉. 電子機器の組立配線技術. 综合电子出版社, 1987.
- [14] 田中和吉. はんだ付け作業の勘ビこう, 1981.
- [15] 杰里米 瑞安. 电子装配工艺. 北京: 国防工业出版社, 1985.

跋

产品设计、产品制造、产品营销是一个公司谋发展、创效益中的三驾马车，三者缺一不可。产品制造是连接产品设计和产品营销间的桥梁。产品设计人员精心设计出来的产品蓝图，只有经过制造人员的精工细作，才能将设计蓝图变成制作精良、性价比好、市场竞争力强的商品，并通过产品营销源源不断地供应市场。产品性能先进，质量优良既是设计人员精心设计出来的，也是靠制造人员精雕细刻制造出来的。设计与制造是相辅相成的。俗语说“红花还需绿叶衬”，好的设计理念还必须有精良的制造技术才能形成有竞争力的商品。制造水平低下，粗制滥造，再好的设计也决不可能被市场接受，“优者胜、劣者亡”，这就是市场对商品的淘汰法则。在选购小型机、电产品方面，人们都愿意选购日本和德国生产的产品，就是因为他们的产品制作精良。

产品制造技术的核心是产品的工艺技术，多年来我国一直流行着“先进的设计，落后的工艺”的说法。这确实映射了我国工业产品（特别是电子产品）生产中所存在的问题。这也正是横在我国由电子制造大国奔向电子制造强国的征途上必须要攻克的堡垒，否则实现世界电子制造强国就是一句空话。美国是世界上第二个发射卫星的国家，就是这种提高国家威望的大事，也曾因为一点小事（焊接）而受到挫折。据说，卫星的发射成功，最终还是多亏了德国的“焊接之神”阿尔宾·威德曼先生的帮助。从此，诞生了美国国家航空航天局（NASA）焊接学校。

广义的工艺技术即产品的制造技术，它包括从产品设计的可制造性（DMF）、可检测性（DMT）、可维修性（DFS）约束、原材料进厂的工艺性要求、加工制造诸元（人、料、机、法、测、环，即5M1E）的优化和控制、对应用环境的防护（即三防）措施等全部加工制造和管理技术的总和。

工艺技术工作是一门为提高企业的劳动生产效率、提高产品制造质量、节能降耗、降低成本、增加利润的综合性的产品制造技术。它是以“时间”、“空间”、“效率”、“能源”等为基础，对加工制造方法和顺序、生产手段、工作环境、组织机构、人力资源和结构、质量控制等不断优化为研究对象的科学。我们对工艺技术研究就是为了寻求经济、高效的加工方法去制造某种产品。因此，工艺技术也是研究优质、高产、低消耗、高利润地生产产品的制造原理和加工方法的一门科学。

工艺技术在科技领域里处于科技成果和生产成品之间，是一个独立的发展阶段。它是将科技成果转化为商品，设计样品转化为批量生产的产品供应市场的关键和桥梁。采用先进的工艺技术，可直接为企业增加经济效益，提高市场竞争力。

工艺技术是产品制造过程中最活跃的因素，是产品制造质量的技术基础，加强工艺技术的不断进步是提高产品质量的前提。整个产品生产制造过程是以工艺技术为核心的系统工程，各个工序的工艺质量的总和即构成了整个产品的制造质量。

在科学技术高度发展的今天，工艺技术研究越来越被各企业所重视，越来越显示出它的重要性。任何一种新产品的设计或一项新的应用性发明创造都伴随着新的工艺试验研究过程。



国外始终把工艺技术和试验放在突出的位置上,据有关统计资料反映,美国在工业范围内各研究阶段投入的资金和人力比例是:如果基础理论研究为 1,则应用研究为 5,产品开发研究为 20,生产技术研究为 300。也就是说工艺技术研究投入是产品开发研究的 15 倍。重视不重视工艺研究和试验,直接影响到产品质量的提高和经济效益的增长。我们有些企业采用同一种原料,应用同一种工艺装备,采用大致相同的工艺,然而生产出的产品质量却不同,经济效益也不一样。这里就有一个生产诀窍问题。而生产技术上的诀窍就是加工技术方法,也就是工艺技术中的一种最佳的方案,最佳的工艺参数。这些“关键”和“诀窍”很多是“一点就明,一捅就破”的。然而要获得它,就必须经过工艺技术和试验才能得到。

中兴通讯是世界级大型通信设备供应商,拥有世界一流、配套完整的生产工艺装备体系,加上公司品种繁多的产品类型,这些都是发展现代电子工艺技术的得天独厚的条件。长期以来,在公司创始人侯为贵董事长的重视下,在公司总裁史立荣先生的关怀下,在执行副总裁邱未召先生的直接领导下,公司的工艺技术与时俱进,不断地发展着。公司的最高领导层始终本着“科技是第一生产力,人才是第一资源”的原则,谋划公司工艺技术和工艺人才的成长。按照“以师带徒,理论与实践结合,干中学,学中干”等模式,一些人已成长为公司工艺技术工作的核心(如研究部的刘哲、制造中心的邱华盛),也有年轻的科技人员已成长为解决产品生产问题的能手(如制造中心工艺部的孙磊和史建卫)。

“欲穷千里目,更上一层楼”,在以侯为贵董事长为首的公司最高层的部署下,公司成立了中兴通讯电子制造职业学院。按照初级、中级和高级的人才培养层次的需要,公司与电子工业出版社合作,共同出版了“现代电子制造系列丛书”,既可作为学院的教材,也可奉献给电子制造业界的同行参考。

中兴通讯“现代电子制造系列丛书”编写组